

**DISEÑO HIDRÁULICO Y SEGUIMIENTO DE OBRAS PARA EL  
CONTROL DE EROSIÓN EN RÍOS Y TALUDES EN LOS TRAMOS 2, 3 Y  
4 DE LA VÍA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO.**

**JISELD SOLANYI BENAVIDES CONTRERAS  
CÓDIGO: 064081051**

**HEIDY ALEXANDRA ROBAYO BOTERO  
CÓDIGO: 064081084**

**UNIVERSIDAD LIBRE  
FACULTAD DE INGENIERIA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL  
SEDE BOSQUE POPULAR  
BOGOTÁ  
2013**

**DISEÑO HIDRÁULICO Y SEGUIMIENTO DE OBRAS PARA EL  
CONTROL DE EROSIÓN EN RÍOS Y TALUDES EN LOS TRAMOS 2, 3 Y  
4 DE LA VÍA BOGOTÁ-VILLAVICENCIO.**

**JISELD SOLANYI BENAVIDES CONTRERAS**

**CÓDIGO: 064081051**

**HEIDY ALEXANDRA ROBAYO BOTERO**

**CÓDIGO: 064081084**

**Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Ambiental**

**Director:**

**Ingeniero Civil Magister Recursos Hidráulicos**

**Docente Investigador Universidad Libre**

**Ernesto Torres Quintero**

**UNIVERSIDAD LIBRE**

**FACULTAD DE INGENIERIA, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

**SEDE BOSQUE POPULAR**

**BOGOTÁ**

**2013**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá, 10 de Diciembre de 2013**

## **Dedicatoria**

A DIOS, por su infinita misericordia de permitirnos avanzar en nuestra aspiración de lograr la meta a ser grandes profesionales.

A nuestros padres que siempre nos han apoyado tanto emocional como espiritualmente a lo largo del camino, siendo aquellas personas que nunca nos abandonan y siempre están orgullosos de ver alcanzada nuestra meta.

## **Agradecimientos**

Al Ingeniero Jesús Ernesto Torres Quintero, director del proyecto quien ha sido la persona que nos ha brindado tutoría, colaboración y compromiso en avanzar con el trabajo de investigación.

Agradecemos a Dios por habernos permitido llegar al final de nuestra carrera profesional, por su bendición y así mismo, porque fue Él quien nunca nos dejó vencer por los obstáculos que se presentaron en el camino y porque con perseverancia fueron todos vencidos para lograr crecer como personas y como profesionales.

Por último a los docentes que siempre nos brindaron orientación para la adquisición de nuevos conocimientos en todo el tiempo de estudio de nuestra profesión.

## Contenido

Resumen .....	11
Introducción.....	13
1. Planteamiento del Problema .....	15
2. Justificación .....	17
3. Objetivos.....	18
3.1 Objetivo General.....	18
3.2 Objetivos Específicos .....	18
4. Marco Referencial .....	19
4.1 Marco Histórico.....	19
4.1.1 Carretera Bogotá – Villavicencio. ....	19
4.2 Antecedentes.....	20
4.3 Características de Taludes en la vía (Estudio de Impacto Ambiental del proyecto y licencia). ....	23
4.4 Marco Teórico .....	26
4.4.1 Función de las Curvas Intensidad- Frecuencia –Duración .....	26
4.4.2 Tiempo de Concentración para el Río Cáqueza. ....	27
4.4.3 Distribución de Weibull para Obtener la Probabilidad. ....	28

4.4.4 Caudal de Escorrentía para Cuencas Menos a 1440 (Ha). ....	28
4.4.5 Vertedero Tipo Creager. ....	29
4.4.7. Obras de Estabilización. ....	37
4.5 Marco Legal.....	48
4.6 Marco Geográfico.....	50
4.7.1. Área de estudio. ....	50
5. Diseño Metodológico .....	53
5.1 Hipótesis .....	53
5.2 Tipo de Investigación .....	53
5.3 Método de Investigación .....	54
5.4 Técnicas Para La Recolección de Información .....	55
6. Resultados.....	56
6.1 Información Mínima Necesaria.....	56
6.1.1 Geología. ....	56
6.1.2 Geomorfología.....	56
6.2. Hidrogeología .....	57
6.2.1 Recurso Hídrico.....	58
6.2.2 Cuenca Del Río Cáqueza.....	59
6.2.3 Estado actual de la cuenca. ....	60
6.3 Aspectos Climáticos .....	60

6.3.1 Precipitación.....	61
6.3.2 Temperatura.....	62
6.3.3 Humedad relativa.....	63
6.3.4 Evaporación.....	63
6.3.5 Intensidad de precipitación.....	63
6.4. Selección del Período de Retorno.....	64
6.5 Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos .....	65
6.5.1 Estación Caraza.....	65
6.5.2. Modelo de distribución.....	66
6.6 Puntos definidos para estimar el tiempo de concentración para las microcuencas	74
6.6.1 Tiempo de concentración.....	75
7. Fichas de manejo ambiental .....	83
Conclusiones.....	90
Referencias .....	93
Bibliografía.....	96



## Lista de Tablas

Tabla 1 Caracterización de taludes .....	24
Tabla 2 Clases de vertedero tipo Creager .....	30
Tabla 3 Los valores K y n están dados por valores estandarizados.....	33
Tabla 4 Ventajas y desventajas de los espigones .....	38
Tabla 5. Cuencas y Microcuencas de Estudio. ....	50
Tabla 6. Método de Investigación .....	54
Tabla 7. Características morfométricas de la cuenca. ....	59
Tabla 8. Variación de la precipitación, Estación las Casas .....	62
Tabla 9. Valores de la precipitación (mm/hora). Estación las Casas Cáqueza.....	64
Tabla 10. Caudales Máximos Anuales, estación CARAZA.....	66
Tabla 11. Datos ordenados de menor a mayor para los caudales de la estación Caraza .	67
Tabla 12. Caudales Máximos .....	70
Tabla 13. Cálculos con el caudal máximo (Vertedero Creager).....	71
Tabla 14. Perfil del Aliviadero .....	74
Tabla 15. Puntos para estimar el tiempo de concentración. ....	74
Tabla 16. Pendientes de las Microcuencas .....	75
Tabla 17. Tiempo de concentración para las Microcuencas.....	75
Tabla 18. Intensidad con un tiempo de retorno de 50 años .....	76
Tabla 19. Valores típicos del coeficiente de escorrentía C.....	76
Tabla 20. Caudales máximos.....	77
Tabla 21. Alturas del agua en el vertedero-Disipador de energía .....	78
Tabla 22. Calculo de la altura de la sección del canal que contiene el agua .....	81

## Lista de Figuras

Ilustración 1. Dique vertedero tipo azud 10 A.....	22
Ilustración 2 Izquierda problemática general existente .....	22
Ilustración 3 Esquema del perfil del aliviadero .....	34
Ilustración 4 Esquema del vertedero tipo Creager.....	37
Ilustración 5 Esquema general.....	40
Ilustración 6 Disipador con pantallas deflectoras .....	41
Ilustración 7. Disipador con lecho de amortiguación. ....	42
Ilustración 8. Gaviones .....	43
Ilustración 9. Componentes principales de un muro anclado. ....	46
Ilustración 10. Tipos de falla en un muro anclado. ....	47
Ilustración 11. Muro Anclado, vía Bogotá- Villavicencio km 15 .....	48
Ilustración 12. Cuencas de estudio. ....	51
Ilustración 13. Microcuencas de estudio .....	52
Ilustración 14. Variación de la Temperatura, Estación Las Casas .....	62
Ilustración 15. Curva de Intensidad Duración Frecuencia, Estación Las Casas.....	64
Ilustración 16. Papel de gumbel-aritmetico .....	68
Ilustración 17. Papel de Gumbel- Logarítmico .....	69
Ilustración 18. Perfil del Aliviadero .....	74
Ilustración 19. Canal abierto.....	80
Ilustración 20. Curva para determinar la profundidad del canal .....	82
Ilustración 21. Sección transversal del canal en forma perpendicular a la dirección del flujo .....	82

## **Resumen**

Esta investigación presenta un análisis de los diseños para obras de estabilización para el control de erosión en los tramos 2,3 y 4 vía Bogotá-Villavicencio. En el proyecto se realizó la identificación de varias cuencas hidrográficas de estudio para determinar caudales máximos anuales con la información obtenida de la estación del IDEAM identificada con el nombre de Caraza. Dando secuencia con el desarrollo del proyecto, se planteó un cálculo de diseño hidráulico del vertedero tipo Creager ubicado en el Puente María Auxiliadora. También se hizo un análisis del viaducto con la formula hidráulica de Manning; a estos cálculos se les realizó un análisis de mejoramiento para esas obras y evitar su deterioro por condiciones naturales del río Cáqueza. Estas alternativas se evaluaron en cuanto a aspectos ambientales con el fin de seleccionar las condiciones adecuadas para que sea beneficios para el municipio de Cáqueza, población aledaña y principalmente para los usuarios que se movilizan por el corredor vial hacia la ciudad de Bogotá y Villavicencio. Del análisis resuelto para ambos diseños se identificó que para controlar la erosión y/o socavación de las estructuras se deben mejorar las estructuras teniendo en cuenta las características apropiadas de la zona. Ya en el planteamiento de los diseños se ejecutaron estudios de tipo geológico, geomorfológico e hidrológico para generar posibles riesgos y afectaciones. Para los estudios anteriormente nombrados se desarrolló el análisis, trazo de las cuencas, selección de las estaciones del IDEAM para acceder a los registros de caudales y precipitaciones de la zona, se escogieron dos (2) estaciones Caraza para información de Caudales y Las Casas para información de precipitaciones. Finalmente se

realizaron unas fichas de manejo ambiental para las obras de control de erosión, las cuales se desarrollaron en el siguiente orden: en primera medida se realizó una identificación de los antecedentes de las obras que se han venido realizado en los últimos años identificando por qué las estructuras no han solucionado del todo la erosión que se presenta y su respectivo impacto en los diferentes componentes a estudiar, además se realizó una pequeña descripción de las obras con el fin tener una claridad de estas, así como la posibilidad de hallar la importancia de esas obras y la adecuación de modificar dichos trabajos para que tengan una mejor viabilidad y mejorar su vida útil.

## **Introducción**

El trabajo de grado que aquí se presenta, muestra el planteamiento de un proyecto a realizarse en los tramos 2,3 y 4 vía Bogotá-Villavicencio que buscó controlar la erosión y/o socavación de las siguientes estructuras: i) el vertedero tipo Creager dispuesto en el Puente María Auxiliadora (kilómetro 26) y ii) el viaducto ubicado en el kilómetro 31.

Para el desarrollo del dicho proyecto se planteó por un lado, el cálculo de diseño hidráulico del vertedero tipo Creager mencionado y por otro lado, el análisis del viaducto con la formula hidráulica de Manning. A estos cálculos se les realizó un análisis que buscó el mejoramiento para ambas obras con el fin de evitar su deterioro a raíz de las condiciones naturales del río Cáqueza.

Por lo tanto, se hizo una propuesta de replanteamiento de la estructura tipo Creager ya que la que está actualmente no tiene los requisitos necesarios para cumplir con su objetivo. De tal manera, se propusieron nuevas dimensiones para el vertedero, un diente de aliviadero que generara un resalto hidráulico controlado y el despeje de diferentes materiales entorpecedores en la zona.

Ahora bien, en cuanto al planteamiento de los diseños se ejecutaron estudios de tipo geológico, geomorfológico e hidrológico para generar posibles riesgos y afectaciones; con este fin, se realizaron análisis, trazo de las cuencas y selección de las estaciones del IDEAM para acceder a los registros de caudales y precipitaciones de la zona.

El trabajo investigativo se realizó ante la necesidad de aminorar el número de derrumbes que se presentan entre los kilómetros 1 y 24 de la vía Bogotá–Villavicencio ya que tanto los índices de accidentalidad como los de mortandad en la zona a consecuencia de la erosión y los deslizamientos, son preocupantemente altos.

Finalmente, es necesario decir que este tipo de trabajos de grado se constituyen en aportes tanto teóricos como prácticos para el desarrollo vial general de un país como Colombia que en la actualidad cruza por un momento neurálgico de crecimiento y desarrollo en carreteras dadas las circunstancias económicas dinámicas que se están viviendo, así como los intereses gubernamentales de toda clase.

## **1. Planteamiento del Problema**

Las carreteras constituyen uno de los elementos básicos en las estrategias de desarrollo regional ya que se consideran el principal elemento potenciador de la modificación, uso del suelo y del espacio. Sin embargo, las vías son generalmente construidas bajo una concepción lineal que aunque buscan la conformación de una red de comunicación para la integración de las diferentes regiones a la actividad económica del país, muchas veces su diseño se hace bajo las consideraciones de disminuir costos. (Importancia de los estudios ambientales en la proyección de vías. Un estudio comparado de caso: La carretera Bogotá–Villavicencio y la conexión Colombia Panamá)

El corredor vial Bogotá-Villavicencio inicialmente era una trocha levantada alrededor de los desfiladeros que bordeaban el Río Negro, por donde se transportaba ganado de los Llanos hacia el interior. Después se convirtió en un camino de herradura, más tarde, en una vía pavimentada que bordeaba igualmente el río y que estaba expuesta constantemente a los derrumbes causados por el desbordamiento de las quebradas así como por las fallas geológicas que son características de esta región.

Desde hace aproximadamente dieciocho años, esta vía se convirtió en lo que hoy se conoce como la Vía al Llano o Autopista al Llano entre Bogotá y Villavicencio, producto de múltiples trabajos de rectificación, ampliación de la vía, construcción de túneles, viaductos y mantenimiento permanente a cargo de la concesionaria vial de los andes S.A. (COVIANDES).

Esta vía ha facilitado la conformación de centros poblados, uso y transformación del suelo, de la cobertura vegetal abarcando gran parte de la cuenca del Río Negro en su recorrido vial. Este proceso de transformación y estructuración del espacio en esta región ha estado

influenciado por los desarrollos viales que se han dado a lo largo de la historia, los cuales a su vez, han estado en gran parte determinados por las características topográficas además de las geológicas del cañón del Río Negro, permitiendo que el desarrollo vial se haya dado de manera paralela al curso fluvial de los ríos Negro y Cáqueza. (El Corredor ecológico vial Bogotá-Villavicencio: Espacio de planificación territorial, 2011)

Ahora bien, la empresa COVIANDES ha tenido como objetivo mejorar la seguridad de los viajeros en la vía Bogotá-Villavicencio por lo que para reducir la caída de piedras sobre el corredor vial, COVIANDES y sus contratistas hasta la fecha han instalado cerca de 280 mil metros cuadrados de mallas protectoras en los kilómetros 38+000, K45+000, desde el K60+000 hasta el K70+000.

De la misma manera, esta empresa ha diseñado la construcción de canales de coronación, dissipadores, cunetas, alcantarillas, filtros, revestimiento de gaviones, entre muchos más trabajos para el manejo de aguas, para evitar derrumbes o deslizamientos en la vía entre el K45+300 hasta el K70+300, elementos que hacen parte de las obras de alistamiento y mejoramiento de la vía. Estos trabajos tienen como fin canalizar y controlar las aguas de escorrentía para evitar desestabilizaciones, erosiones o filtraciones sobre la ladera que puedan afectar la vía a causa de las lluvias. Concretamente, desde que se iniciaron en enero del año 2010, se han construido 104 dissipadores de energía, 25 kilómetros de cunetas, 94 alcantarillas y se han instalado 35.000 metros cuadrados de filtros (COVIANDES, 2013). No obstante todas estas obras en la vía, se ha venido presentando problemas de deslizamientos en los últimos años por lo que se pretende con este proyecto dar alternativas de control de erosión para las obras que se encuentran con el fin de mitigar los impactos y que además, tengan una duración de más años.



## **2. Justificación**

Es de vital importancia conocer el alcance que sobre la naturaleza y su entorno ejerce cualquier modificación en la vía por la dimensión que toman los problemas ambientales que tienen que ver con la erosión en los tramos a trabajar que van desde el tramo 2 (K9+210), hasta la abscisa del tramo 3 (K25+510) y el tramo 4, específicamente en el Puente María Auxiliadora. (Prieto, 2006)

Ante la necesidad de mitigar los derrumbes en el kilómetro 1 al 24 de la vía Bogotá–Villavicencio y a causa de la accidentalidad y mortandad en la zona como consecuencias por la erosión como por los deslizamientos, se ha pasado a la implementación de diseños hidráulicos para el control de erosión de taludes en la zona.

Este proceso identifica las variables que controlan la erosión así como la forma como afectan a la estabilidad de los taludes para posteriormente realizar el diseño hidráulico y hacer el seguimiento para el control de erosión. También se pretende analizar e interpretar el diseño de los taludes que se seleccionaron para la vía y para el puente María Auxiliadora, con el fin de identificar en una zona determinada los posibles derrumbes, el estado de las obras para el control de erosión que se presentan por las temporadas invernales en el país que afectan directamente a los usuarios que se movilizan permanentemente por este corredor vial, debido a que es una de las principales carreteras del país que comunican a la capital con los llanos orientales y es importante el flujo vehicular. Por consiguiente se espera obtener el diseño hidráulico correcto con el objetivo de lograr unos resultados verídicos que mitiguen la erosión y que de igual manera, logren reducir los principales impactos ambientales, sociales, culturales e incluso económicos que se involucran en esta problemática.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Realizar el diseño hidráulico y de seguimiento para el control de erosión en taludes y ríos en las obras realizadas para los tramos 2, 3 y 4 de la vía Bogotá-Villavicencio.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las condiciones geológicas y geomorfológicas de las zonas de estudio para determinar los riesgos o posibles afectaciones que se generen en el proyecto.
- Analizar el estudio hidrológico de la zona para identificar los problemas de erosión del tramo kilómetro 1 al kilómetro 24 de la vía y aguas arriba del puente María Auxiliadora.
- Plantear herramientas para el diseño y seguimiento de las obras de control de erosión a los taludes en la zona de estudio y el puente María Auxiliadora.

## **4. Marco Referencial**

### **4.1 Marco Histórico**

#### **4.1.1 Carretera Bogotá – Villavicencio.**

Es la carretera que comunica a Bogotá con Villavicencio, principal entrada a los Llanos Orientales, la Orinoquía Colombiana y un eslabón de la futura vía a Venezuela. La importancia estratégica así como los complejos problemas técnicos de la vía, obligaron a formular en la década de los 90 un plan para mejorar las comunicaciones de esta zona con el resto del país. La Orinoquía está conformada por cinco departamentos (Meta, Vichada, Arauca, Casanare y Guaviare), cuya área total cubre el 31% del país. El aislamiento físico en el que se encontraba la zona por décadas disminuyó su competitividad manteniéndola alejada de los principales centros de consumo. La ciudad de Villavicencio por su parte, se ha venido convirtiendo en un importante polo de desarrollo, constituyéndose a la vez, en el principal centro de consolidación de la carga de la región.

El incremento del tráfico y las deficiencias técnicas de la carretera se fueron convirtiendo en un obstáculo ya que cada vez con mayor frecuencia se presentaban cierres prolongados causados por las obstrucciones que resultaban de los deslizamientos de las laderas del corredor vial. Específicamente, los mayores problemas de inestabilidad se presentaban entre Caquezá y Villavicencio, mientras que la probabilidad de falla iba disminuyendo a medida que la vía se acerca a Bogotá.

Otro aspecto a tener en cuenta, es el de las condiciones topográficas que hacían deficientes las especificaciones de la vía en diferentes tramos donde se presentaba una alta accidentalidad. El tiempo de viaje para recorrer la vía era de cinco horas para camiones y tres

para automóviles con un promedio de velocidad para los primeros de 20 Km/h, inferior en un 50% respecto a las demás carreteras troncales del país, por lo tanto, el costo del transporte de una tonelada entre Villavicencio y Bogotá se incrementaba en un 60%.

Por las anteriores razones y por considerar que al construir la carretera esta vía se convertiría en un sistema para integrar la Orinoquía con el resto del país, se inició en el año 1994 el mejoramiento de este corredor vial. Antiguamente su longitud de vía era de 110 Km<sup>1</sup> y tenía áreas de difíciles condiciones topográficas así como valiosos ecosistemas de características endémicas. Por lo tanto, después de los análisis técnicos correspondientes se resolvió modificar el trazado de la carretera en varios puntos con soluciones técnicas de ingeniería de vías para preservar el medio natural. Paralelamente, se tomaron medidas técnico ambientales que permitieran mantener intactas numerosas áreas de importancia biótica, hídrica y sociocultural.

La carretera Bogotá-Villavicencio forma parte de la red vial Nacional, identificada como ruta 40. De acuerdo con INVIAS, es una transversal que atraviesa el país desde el puerto de Buenaventura pasando por Ibagué, Bogotá, Villavicencio hasta Puerto Carreño. La zona del proyecto está enmarcada sobre la Cordillera Oriental en la cuenca del Río Negro interconectando la Región Andina, con los Llanos Orientales. (IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES EN LA PROYECCION DE VÍAS, Un estudio comparado de caso: La carretera Bogotá–Villavicencio y la conexión Colombia Panamá)

## **4.2 Antecedentes**

Como resultado de la construcción de la carretera Bogotá- Villavicencio, se generaron a lo largo de ella superficies expuestas de material tanto del suelo como del subsuelo con

---

<sup>1</sup> En la actualidad es de 89 Km.

pendientes fuertes e inicialmente desprovistas de vegetación que conllevan a deslizamientos de tierra que afectan la movilidad de particulares.

Para su control se realizó la construcción de taludes que usualmente han sido protegidos mediante estructuras civiles y tratamientos con vegetación aunque no han sido obras que del todo impidieran movimientos de masa ya que en época de invierno se han presentado diferentes tipos de taludes.

En los primeros tramos, la carretera Bogotá-Villavicencio discurre a lo largo del talud izquierdo del río Caquezá: corriente de montaña, de régimen torrencial, por lo que la estabilidad de la vía está asociada a los procesos naturales de socavación del lecho y erosión de los taludes del río. Para su control, en el tramo Km 22+400 y Km 24+500 se ha construido una serie de cinco diques vertedero tipo azud como se muestra en la imagen 1, identificados como los azudes 9, 10, 10A, 10B y 11, cuyo efecto, si bien es notable, se considera aún insuficiente ante la magnitud de la problemática existente como se evidencia en la imagen 2 donde ocurren grandes fenómenos de inestabilidad debido a la naturaleza de los depósitos a media ladera y pobre resistencia, flujos subterráneos a alta presión, condiciones de flujo difuso en la ladera, alta pendiente y gran torrencialidad del río.

En el lugar de trabajo se han hecho diferentes estudios y diseños como por ejemplo: para el control de la inestabilidad geotécnica en el tramo dicho anteriormente, el objetivo del proyecto es múltiple: Evaluar en forma detallada el efecto de las obras hidráulicas ya construidas, ejecutar los estudios básicos complementarios requeridos y diseñar las obras hidráulicas necesarias (COVIANDES, 2011).



**Ilustración 1. Dique vertedero tipo azud 10 A**

Fuente: Proyecto Estudios y Diseños para la Estabilización Hidráulica de la Carretera Bogotá-Villavicencio. Disponible en: [http://www.hidroconsulta.com/nuestros-proyectos/proyectos-de-consultoria/item/estudios-y-disenos-para-la-estabilizacion-hidraulica-de-la-carretera-bogota-villavicencio.html?category\\_id=3](http://www.hidroconsulta.com/nuestros-proyectos/proyectos-de-consultoria/item/estudios-y-disenos-para-la-estabilizacion-hidraulica-de-la-carretera-bogota-villavicencio.html?category_id=3)



**Ilustración 2 Izquierda problemática general existente**

Fuente: Proyecto Estudios y Diseños para la Estabilización Hidráulica de la Carretera Bogotá-Villavicencio. Disponible en: [http://www.hidroconsulta.com/nuestros-proyectos/proyectos-de-consultoria/item/estudios-y-disenos-para-la-estabilizacion-hidraulica-de-la-carretera-bogota-villavicencio.html?category\\_id=3](http://www.hidroconsulta.com/nuestros-proyectos/proyectos-de-consultoria/item/estudios-y-disenos-para-la-estabilizacion-hidraulica-de-la-carretera-bogota-villavicencio.html?category_id=3)

Otro estudio relacionado se llevó a cabo en la variante sobre las planicies de inundación de los ríos Caquezá y Negro, por sus relativas bajas alturas con respecto a los cauces, establece un alto nivel de amenaza sobre la estabilidad y vida útil de la misma, con base en los fenómenos

de inundación y de socavación, además, los problemas de erosión e inestabilidad de algunos sectores del talud de la margen izquierda del río Caquezá pueden ocasionar represamientos del río por obstrucción del cauce.

La mayor dinámica del río Caquezá se presenta en la zona del viaducto, donde se erosionan los depósitos de la margen derecha de la vía. El río Negro también presenta gran dinámica en su margen derecha. Se generan, así, problemas potenciales por erosión y socavación de los terraplenes de la variante, los que sumados a los de inestabilidad de los taludes de la margen izquierda, también por erosión y socavación por el río en su base, pueden ser causa eventual de represamientos y avalanchas, con modificación del cauce y afectación de la transitabilidad de la vía. Para este problema se realizó el siguiente estudio que consiste en realizar un estudio geomorfológico de evolución del cauce de los ríos Caquezá y Negro, con el fin de establecer los tramos de la vía amenazados por las crecientes de los ríos y por la inestabilidad de sus taludes y recomendar lo pertinente. (COVIANDES, 2013)

#### **4.3 Características de Taludes en la vía (Estudio de Impacto Ambiental del proyecto y licencia).**

De acuerdo con los análisis geotécnicos y ambientales en los que se valoraron aspectos relativos a la condición geomecánica de los suelos presentes en las áreas correspondientes a desmonte para conformación de la banca así como a su aptitud ante condiciones de exposición a la intemperie (luz solar, agua lluvia y vientos), en el estudio se indica lo siguiente respecto al diseño de taludes para todos los tramos de la vía, en este caso se le da el nombre de sectores para kilómetros cortos:

**Tabla 1 Caracterización de taludes**

Talud	Recubrimiento
<b>Terraplén</b>	<p>Sector 1, 1A, 2, 2A, 3, 3A, 4 y 4ª para la construcción de los terraplenes podrán emplearse los materiales provenientes de los cortes y túneles, teniendo en cuenta las siguientes recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- antes de colocar los terraplenes deberá removerse la capa vegetal.</li> <li>- Los terraplenes deberán construirse cumpliendo con las normas INVIAS del 2007.</li> <li>-La inclinación de los taludes será V:1 H:1.5.</li> <li>-Una vez contruidos los terraplenes estos deberán protegerse inmediatamente con una empradización.</li> <li>-Para el caso de los terraplenes en media ladera, deberá realizarse una excavación del terreno natural en forma escalonada con ancho de 0.5 m en cada paso.</li> </ul> <p>Retornos Sector 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En la mayor parte del sector los terraplenes podrán apoyarse directamente sobre el depósito aluvial detectado debajo de la capa orgánica. En algunas zonas, especialmente en los ubicados en cercanías al río Negro, se tendrá un nivel freático muy cercano a la superficie, por lo que se recomienda colocar en la base del terraplén en estas zonas, un pedraplén de 0,6 m de espesor.</li> <li>- El talud para la conformación de los terraplenes deberá ser H:2 V:1 con objeto de garantizar la estabilidad de la estructura. Adicionalmente una vez sean contruidos será necesaria su empradización mediante la siembra de semillas o estolones.</li> </ul>
<b>Corte</b>	<p>Sector 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El talud recomendado para los cortes que se requieran a lo largo del corredor es de H:0,5 V:1 para el caso de cortes en lutita fracturada y H:1, V:1 para el caso de los cortes en coluvión.</li> <li>- En el corte No 3, comprendido entre el K36+750 y el K36+820, para disminuir el volumen de corte y la afectación de predios, se recomienda emplear taludes V:1, H:0,25 que deberán cubrirse con concreto lanzado complementado con anclajes activos.</li> <li>- Los cortes superiores a 12 m deberán incluir la construcción de terrazas, con un ancho de berma de 3 m. Cada berma construida requiere la colocación de una cuneta que garantice el manejo del agua de escorrentía.</li> </ul> <p>Sector 1A</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los taludes de tipo permanente recomendados para la conformación de la calzada tendrán una inclinación H: 0,5, V: 1.</li> <li>- Los taludes de tipo temporal recomendados para los túneles falsos se realizarán con una inclinación H: 0,25, V: 1.</li> <li>- Para la estabilización de los cortes 1, 4, 7 y 10 ubicados sobre el eje izquierdo (rectificación) se emplean anclajes activos (tensionados) debido a su considerable altura y se realizarán bermas cada 15 m de altura con una plataforma de 3 m.</li> <li>- Para la estabilización de los cortes 11, 13, 14, 16, 17 y 23 a 27 se emplean anclajes activos (tensionados) debido a su considerable altura y se realizarán bermas cada 15 m de altura con una plataforma de 3 m.</li> <li>- Cada berma construida requiere la colocación de una cuneta que garantice el manejo del agua de escorrentía.</li> <li>- En todos los taludes se empleará concreto lanzado para su cobertura en conjunto con los tipos y especificación de anclajes definidos.</li> </ul> <p>Sector 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El talud recomendado para los cortes permanentes que se requieran a lo largo del corredor es de H:0,5, V:1 con bermas de 3 m de ancho cada 12 m de altura para el caso de cortes en lutita</li> </ul>



	<p>fracturada, H:1, V:1, igualmente con bermas de 3 m de ancho cada 12 m de altura para el caso de los cortes en coluvión y H:0,75, V:1 con bermas de 2 m de ancho cada 15 m de altura para los cortes en depósitos de terraza.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En el talud 9, se ha diseñado un corte con una inclinación de V:1 H:0.5 con terrazas cada 12 m de altura, anclajes activos y concreto lanzado.</li> <li>- En el corte 10, comprendido entre las abscisas K0+640 a K0+740 del eje A, se empleará un talud V:1, H:0,25 y deberán cubrirse con concreto lanzado complementado con anclajes activos.</li> <li>- Con el fin de garantizar un adecuado manejo de las aguas superficiales, cada berma deberá tener una cuneta que recoja las aguas lluvias y las lleve al sistema hidráulico superficial de la vía y los taludes sin anclajes deberán protegerse con empradización mediante la siembra de semillas o estolones.</li> <li>- Para el caso de los cortes temporales, es decir los requeridos para la construcción de los túneles falsos propuestos para todos los portales de los túneles, se podrán emplear taludes V:1, H:0,25, sin anclajes y sin bermas. Entre el K43+810 y 43+830 se conformará un talud 0,5H:1V.</li> <li>- Los taludes temporales serán protegidos con concreto lanzado en espesor de 10 cm, malla electrosoldada de ¼", instalar lloraderos para drenaje y pernos pasivos de roca de 6 m de longitud y diámetro de varilla de 1".</li> </ul> <p><b>Sector 2A</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los taludes tendrán una inclinación H: 0,5, V: 1 en forma general para los tipos de materiales que se encuentran.</li> <li>- Los taludes de tipo temporal recomendados para los túneles falsos se realizará con una inclinación H: 0,25, V: 1 sin bermas y con anclajes de tipo pasivo.</li> <li>- Para los taludes 1, 2, 6, 8, 15 y 22 se empleará empradizado mediante la siembra de semillas o estolones para su cobertura, ya que presentan alturas relativamente bajas. El resto de los taludes contarán con concreto lanzado como cobertura.</li> <li>- Para el talud 3 se emplean anclajes de tipo activo, realizando además terrazas cada 15 m de altura con una plataforma de 3 m.</li> </ul> <p><b>Sector 3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para los cortes en los depósitos de terraza, aluvial y coluvial, con altura menor a 18 m, se podrá emplear taludes con inclinación V:1, H:0,75.</li> <li>- Estos cortes podrán realizarse con taludes V:1, H:0,5 cubiertos con concreto lanzado, con pernos de 12 m de longitud en cuadrícula de 3x3 m.</li> <li>- Para los cortes con altura mayor a 20 m, se recomienda igualmente taludes con inclinación V:1, H:0,75, pero con bermas a 15.0 m. Como alternativa se podrán emplear taludes V:1, H:0,5, con bermas a 15.0 m y cubiertos con concreto lanzado y pernos en cuadrícula de 3x3 m.</li> <li>- Para el caso de cortes temporales, el criterio adoptado fue el de obtener un factor de seguridad mínimo en condiciones estáticas de 1,2. Bajo este criterio, se podrán emplear taludes con inclinación V:1, H:0,25 cubiertos con concreto lanzado y pernos de 12 m separados 3 m en sentido vertical y 2 m en sentido horizontal.</li> <li>- Para el caso de los taludes en roca, es importante resaltar que los existentes que se encuentran estables, presentan una inclinación que varía entre vertical y V:1, H:0,25.</li> </ul> <p><b>Sector 3A</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Haciendo un análisis de los taludes de corte existentes, los cuales se encuentran estables, se puede concluir lo siguiente: se observa de manera general que en los tramos de depósito se presentan taludes con inclinación variable entre V:1, H:0,5 y V:1, H:0,75; los taludes en roca muestran inclinación variable entre vertical y V:1, H:0,25. Estos análisis corresponden a taludes que no presentan signos de inestabilidad.</li> <li>- Por las condiciones topográficas del sector y con el fin de evitar cortes de gran altura, se trata de emplear inclinaciones altas de taludes, así requirieran de tratamientos superficiales adicionales.</li> <li>- Para los cortes por realizar en los depósitos de terraza, aluvial y coluvial, con altura menor a</li> </ul>
--	---

	<p>15 m, se podrá emplear taludes con inclinación V:1, H:0,5 cubiertos con concreto lanzado, con pernos de 12.0 m de longitud en cuadrícula de 4 x 4 m. Para el caso específico del corte 14 ubicado sobre el eje G la inclinación será la misma y deberá ser empradizado.</p> <p>Sector 4</p> <p>-Para los cortes con altura mayor a 15 m, se recomienda taludes V:1 H:0.33. Para garantizar su estabilidad es necesaria la colocación de anclajes de 25 T (activos) en cuadrícula de 3x3 m.</p> <p>-Para el caso de cortes temporales, el criterio adoptado fue el de obtener un factor de seguridad mínimo en condiciones estáticas de 1.2. Bajo este criterio se podrían emplear taludes con inclinación V:1 h: 0.25 cubiertos con concreto lanzado y pernos de 12 m separados 3m en sentido vertical y 3m en sentido horizontal.</p> <p>-Para el caso de los taludes en roca, es importante resaltar que los existentes que se encuentran estables, presentan una inclinación que varía entre vertical y V:1 H: 0.25</p>
--	---

Fuente: (Ministerios De Ambiente vivienda y Desarrollo territorial; Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2010) 2010.

## 4.4 Marco Teórico

### 4.4.1 Función de las Curvas Intensidad- Frecuencia –Duración

Las curvas Intensidad- Duración- Frecuencia (IDF), son una herramienta más utilizada en la estimación de caudales de diseño, principalmente en la construcción de estructuras hidráulicas de drenajes de vías y alcantarillados pluviales en diferentes zonas urbanas y rurales. En la estimación de las tormentas en sitios donde a la falta de información de caudales se hace necesario recurrir a los modelos de lluvia escorrentía para el cálculo de los caudales máximos.

Para ello es necesario tener el registro de distintos intervalos de tiempo de las lluvias máximas en un mismo sitio y con distintas probabilidades de periodos de retorno, lo cual se resume en las curvas IDF. Comúnmente estas se determinan a través de análisis de la mayor cantidad de registros pluviográficos, concernientes a la estación de estudio. En las cartas pluviográficos están consignados los perfiles de cada tormenta, es decir, la profundidad de precipitación acumulada en función del tiempo. (Velez, 2013)

#### **4.4.2 Tiempo de Concentración para el Río Cáqueza.**

El tiempo de concentración para una cuenca es usado como parámetro para estimar el caudal máximo en cuencas no aforadas. Se define como el tiempo mínimo necesario de una partícula de agua que recorre el trayecto hidráulicamente más largo hasta la salida de una cuenca, para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida.

Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante. Según Kirpich (1940) el tiempo de concentración se puede calcular con la siguiente formula:

$$T_c: 0.01595 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Donde

T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud del cauce principal en (Km)

S: Pendiente promedio de la corriente principal (m/m)

Kirpich desarrolló en 1940 una ecuación empírica para estimar el tiempo de concentración con información de pequeñas cuencas de Tennessee con áreas entre 0.004 y 0.45 km<sup>2</sup> y pendientes entre 3 y 12 %. (Monsalve, 2004, p. 256)

#### **4.4.3 Distribución de Weibull para Obtener la Probabilidad.**

El análisis de Weibull es la técnica principalmente elegida para estimar una probabilidad basada en datos medidos o asumidos, que para el curso de esta investigación se constituyen en datos Caudales de años anuales. Esta metodología es tan útil como practica para simular un amplio rango de distribuciones como la Normal, la exponencial y en este caso la probabilidad de los caudales que se tiene de la estación Caraza, para determinar un caudal anual de diseño además de formular las condiciones ideales del vertedero Creager a partir de la distribución de Weibull. (Abernethy, 2013)

La fórmula tipo Weibull asigna un caudal máximo anual.

$$P: \frac{m}{n + 1}$$

Donde

m: Numero de rango que ocupa el caudal ordenado en la serie de menor a mayor.

n: Número de años de la cantidad de caudales.

#### **4.4.4 Caudal de Escorrentía para Cuencas Menos a 1440 (Ha).**

El agua de escorrentía es el agua que no se infiltra en el suelo, por el contrario, es la que fluye por encima de este. La escorrentía recogida depende de varios factores que incluyen: intensidad de la lluvia, área de drenaje, pendiente y longitud de los taludes a drenarse, naturaleza y extensión de la vegetación o cultivos, condiciones de la superficie y naturaleza de los suelos subsuperficiales.

Las obras que ayudan para el control del agua de escorrentía se deben diseñar para recibir los caudales de una lluvia predeterminada con un período de retorno generalmente de 100 a 500 años, de acuerdo con la importancia de la obra.

Generalmente se recomienda para diseño de obras de drenaje en taludes, la utilización del método racional para calcular las cantidades de agua recogida debido que los caudales calculados por la fórmula racional tienen intrínsecamente un factor de seguridad mayor que otros métodos. (Maccaferri, 2013)

$$Q: C * I * A$$

Donde

Q: Caudal recolectado (m<sup>3</sup>/seg)

I: Intensidad de Lluvia de diseño (mm/hora), la cual depende del tiempo de concentración.

A: Área a drenar o área tributario Km<sup>2</sup>

C: Coeficiente de escorrentía.

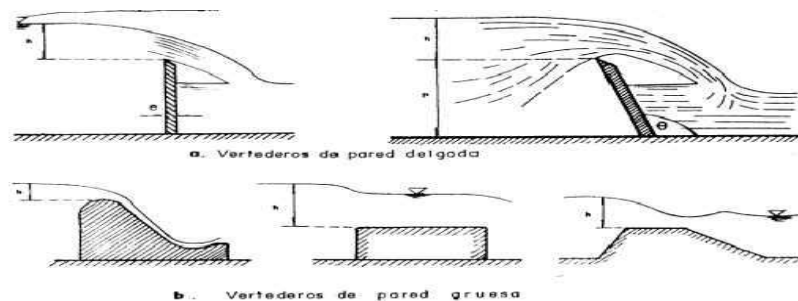
#### **4.4.5 Vertedero Tipo Creager.**

Este tipo de vertedero se construye para evacuar aguas de exceso que se involucra dentro del cuerpo de la presa y consta de cuatro partes esenciales: cresta vertedora, cara vertedora, contorno subterráneo así como estructura de disipación de la energía.

En general, se prefiere que el vertedero sea ancho y poco profundo para que las variaciones del nivel del agua sean pequeñas cuando ocurran variaciones en el caudal. Este tipo

de vertedero se encuentra sobre la corriente del río Cáqueza, exactamente en el puente María Auxiliadora donde se debe tener en cuenta la longitud mínima de la cresta, el cual debe ser de dos metros para evitar obstrucciones mientras que la carga de agua sobre vertederos pequeños varía usualmente entre 0.4 m y 1.5 m.

**Tabla 2 Clases de vertedero tipo Creager**



Fuente: Tomada (Gilberto, 1999)

#### ***4.4.5.1 Partes del vertedero.***

- Cresta vertedora: Se diseña de tal manera que la estructura se adapte a la forma de la parte inferior de la napa de agua escurriendo sobre un vertedero de cresta aguda.
- Cara vertedora: El perfil vertedor se empata con un talud adecuado y dado por la estabilidad de la estructura.
- Contorno subterráneo: La longitud de la base de la estructura depende de la forma y dimensiones de la estructura vertedora para que sea estable, del control de erosión así como del control de la filtración de agua. Usualmente la longitud resultante es de 1.5 a 2.0 veces la carga de agua actuante.
- Disipador de energía: Se diseña para que el agua de vertimiento llegue al cauce natural sin peligro de producir erosión. Este tipo de vertedero es una de las estructuras con más rápida entrega que conduce las aguas desde la cresta del vertedero al cauce del río esto lo obliga a tener fuertes pendientes, por lo que son de concreto armado y se apoyan directamente sobre el terreno natural si es que existen las condiciones favorables. Desde

el punto de vista hidráulico se recomienda que un tirante sea debajo del valor crítico, para evitar formar condiciones de flujo inestable, asimismo las curvas verticales deben ser lo más graduales para evitar la separación de flujo, finalmente las paredes deben ser lo suficientemente altas. (Alfredo, 2005)

#### ***4.4.6.2 Diseño del Vertedero.***

En lo referente al diseño, estos cálculos se desarrollan de acuerdo con lo dispuesto en el libro ‘Obras Hidráulicas Rurales’ de Hernán Materón (2000). A continuación se explica cada paso:

1. Determinar el valor de la longitud (L), en función de la topografía y el caudal.
2. Calcular la carga de diseño ( $H_d$ ), considerando que el vertedero es de cresta ancha y

se utiliza la ecuación Francis:

$$Q_{Max} = 1.84 * L * H_d^{2/3}$$

Despejando  $H_d = H_{Max}$ :

$$H_{máx.} = [Q_{máx.} / 1.84 * L]$$

Donde

$Q_{Max}$ : Caudal máximo de diseño, en  $m^3/seg$

$L$ : Longitud de la cresta del vertedero, en metros

$H_d$ : Altura del agua sobre la cresta del vertedero, en metros

3. Determinar el efecto de la velocidad, con la relación  $\frac{h}{H_d}$ . Si dicha relación es mayor a

1.33 se desprecia el efecto de la velocidad, obteniéndose entonces que:

$$\text{Altura de energia (He)} = H_d + H_a$$

Donde

*He: Carga total sobre la cresta del vertedero, en metros*

*Hd: Altura del agua sobre la cresta del vertedero, en metros*

*Ha: Carga de velocidad, en metros*

4. Determinar el valor de la velocidad del flujo en la cresta del vertedero, utilizando la ecuación de continuidad:

$$Q = V * A \quad \text{Ó sea} \quad V = Q/A$$

Donde

$$Q: \text{Caudal } \frac{m^3}{s}$$

$$V: \text{Velocidad } \frac{m}{s}$$

$$A: \text{Area } m^2$$

5. Se calcula la profundidad crítica (Yc)

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g} * B^2}$$

Donde

*Yc: profundidad critica, en metros*



$Q$ : Caudal  $m^3/s$

$g$ : Gravedad,  $9.8 m/s$

$B$ : Ancho de la estructura, en metros

6. Determinar la velocidad crítica ( $V_c$ )

$$V_c = \sqrt{g * Y_c}$$

Donde

$V_c$ : Velocidad critica, en  $m/seg$

$Y_c$ : Profundidad Critica, en metros

## 7. Elaborar el perfil del aliviadero.

Los valores de  $K$  y  $n$  se toman de la pendiente de la cara aguas arriba que es vertical, como se muestra en la siguiente tabla.

$$X^n = K * Hd^{n-1} * Y$$

**Tabla 3 Los valores  $K$  y  $n$  están dados por valores estandarizados.**

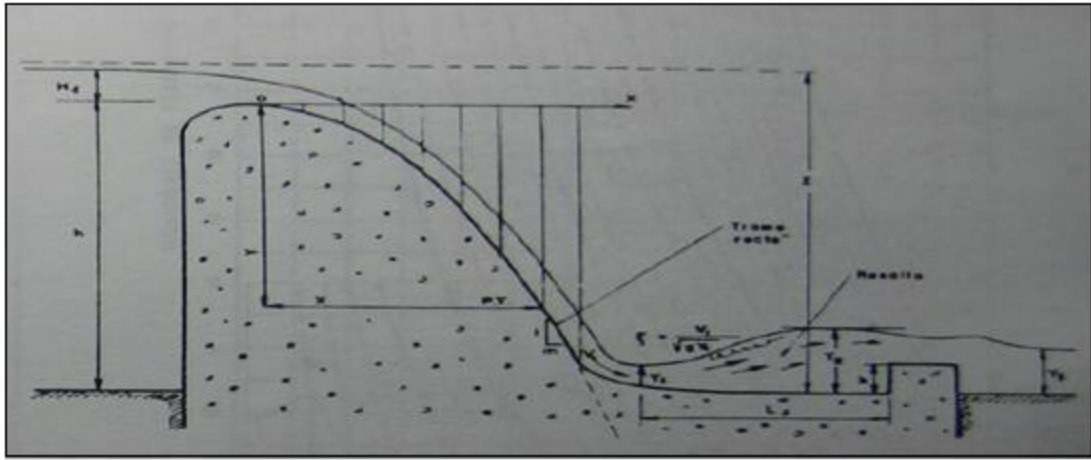
<b>Pendiente de la cara aguas arriba</b>	<b>K</b>	<b>n</b>
Vertical	2.0	1.85
3:1	1.936	1.836
3:2	1.939	1.810
3:3	1.873	1.776

Fuente: (Hernan, 1997, pág. 35)

Donde

$X$ : Altura del vertedero

*Y: Son estimados por el diseñador*



**Ilustración 3 Esquema del perfil del aliviadero**

Fuente: (Hernán, 1997, pág. 33)

8. Diseño del pozo de amortiguación, es una estructura corta pavimentada situada al pie del aliviadero con el objeto de producir y retener el resalto hidráulico, empleado para convertir el flujo supercrítico en flujo subcrítico. Es necesario este flujo para prevenir la socavación de la estructura aguas abajo del sector que no estará pavimentado. Se determina la velocidad ( $V_1$ ) al pie del aliviadero:

$$V_1 = 2 * g * (z - 0.5 * H_d)^{1/2}$$

Donde

$V_1$ : Velocidad al pie de la presa, en m/seg

$Z$ : Altura medida desde el nivel máximo aguas arriba de la estructura hasta el nivel del pozo de amortiguación, en metros.

9. Calcular la altura del agua a la salida o pie de la presa.

$$Y1 = \frac{Q_{max}}{V1 * B}$$

Donde

*Y1: Altura del agua a la salida de la presa*

*V1: Velocidad al pie de la cresta, en m/seg*

*B: Ancho de la estructura, en metros*

10. Calcular el número de Froude (F1)

$$F1 = V1 / \sqrt{g * Y1}$$

Donde

*F1: Numero de Froude al pie de la presa.*

11. Determinar la altura del diente del dique en el pozo de amortiguación con base en la relación de Foster y Skrinde. Se determina el valor F, vs, h/Y<sub>1</sub>, despejando (h), este dato se obtiene de la grafica

*h/Y<sub>1</sub>: Longitud en términos de la altura seciente Y<sub>1</sub>, de un resalto hidráulico en un canal horizontal.*

12. Calcular el valor de la altura máxima del resalto (Y<sub>2</sub>), en el pozo de amortiguación, con la siguiente ecuación:

$$2667 * Y1^2 * \left[ L + \frac{h}{\frac{Y1}{Y2}} \right] = \left( \frac{Y2}{Y1} - \frac{h}{Y1} \right)^3$$

Se despeja Y2

$$Y2 = \frac{Y1}{2} \left[ \sqrt{1 + 8 * (f1)^2} - 1 \right]$$

Donde

*Y2: Altura del resalto en el pozo de amortiguacion, en metros*

13. Determinar el valor de la profundidad del flujo a la salida del pozo de amortiguación (Y<sub>3</sub>).

$$Y3 < (2 * Y2 + h)/3$$

Donde

*Y3: Altura del agua a la salida del canal de descarga, en metros*

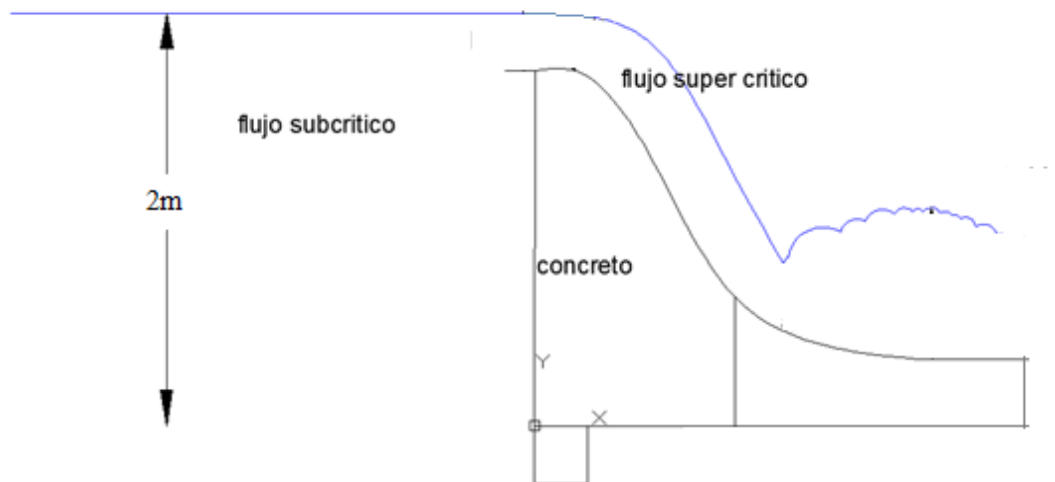
14. Finalmente determinar la longitud del pozo de amortiguación (Lj)

$$Lj = 6.9 * (y2 - y1) \text{ o también; } Lj = 5 * (h1 + y3)$$

Donde

*Lj: Longitud del pozo de amortiguación, en metros.*

A continuación se observa en la imagen el esquema de la estructura Vertedero Creager en las condiciones que se encuentra actualmente, contando con un ancho de 10.8 m y además carece del colchon de amortiguación.



**Ilustración 4 Esquema del vertedero tipo Creager**

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.4.7. Obras de Estabilización.**

Para contrarrestar los agentes que contribuyen con la generación de los eventos de inestabilidad, se instalan obras que propenden por la recuperación de las condiciones de estabilidad y la mitigación de los efectos adversos que la materialización de la amenaza que puede acarrear sobre otro tipo de estructuras. (Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras, 2006)

##### ***4.4.7.1 Espigones en el Viaducto Km 31.***

Son estructuras esencialmente ribereñas que forman parte de un sistema de defensa que en determinados ríos y circunstancias, resulta muy conveniente para la fijación de márgenes. Este tipo de estructuras no se recomienda cuando la pendiente es muy grande pues las altas velocidades atentan contra la estabilidad.

Son elementos que arrancan de la orilla fluvial, a la cual pueden estar empotrados o no y penetran dentro de la corriente lo cual los hace bastante vulnerables a la fuerza del agua. Esta

estructura se encuentra en el viaducto a (K31 + 600) en forma de defensa para proteger las columnas de soporte del viaducto para evitar el proceso erosivo y socavación en las estructuras del viaducto que se estaba presentando años atrás, lo que colocaba en peligro la estabilidad y riesgo de accidentalidad en la vía.

Para corregir el daño anterior se diseñaron los espigones en la ribera del río Cáqueza, estas estructuras sí han controlado la erosión puesto que la población cercana a esta zona ha informado que no se ha vuelto a sobrepasar el río por encima de la estructura, pero bajo estas estructuras se observa deterioro cerca al borde del río.

La “cabeza”, “punta” o “nariz”, que es el extremo del espigón que está dentro del río, puede ser robusta o tener algún grado de protección porque en sus alrededores se produce socavación. Su elevación sobre el lecho fluvial debe ser pequeña.

La cresta se desarrolla longitudinalmente, desde la orilla hasta la punta del espigón, generalmente desciende hacia el eje del río y determina la altura del espigón además de que puede estar sumergido o no.

**Tabla 4 Ventajas y desventajas de los espigones**

<b>Finalidad</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumple con defender las márgenes contra la erosión. A estos espigones se les llama generalmente retardadores del flujo.</li> <li>- Formación de un cauce más profundo, con fines de navegación. A estos espigones se les llama deflectores.</li> <li>- Desviar u orientar la corriente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Facilidad de construcción.</li> <li>- Bajo costo.</li> <li>- Facilidad de reparación, posibilidad de usar diversidad de materiales, posibilidad de introducir mejoras, uso de la experiencia y la mano de obra locales.</li> <li>- Construcción por etapas y no se requiere mano de obra altamente especializada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se constituyen elementos extraños dentro de la corriente y por lo tanto causan diversas formas de erosión y sedimentación en el lecho fluvial.</li> <li>-Otra importante se refiere a la socavación que se produce en los alrededores de la punta de cada espigón como consecuencia de los vórtices y corrientes secundarias, todo esto debe ser tenido en cuenta en el diseño.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

En algunos proyectos, un sistema de protección con espigones tiene frente a una defensa continua la desventaja de disminuir el área hidráulica del cauce. La ventaja de una defensa continua es que puede considerarse una estructura definitiva en cuanto algún sistema de defensas fluviales pueda considerarse definitivo.

En el caso del viaducto se encuentra la obra que tiene 6 espigones con gaviones que están diseñados en concreto con una longitud de 20 m lineales y 7m de ancho, con una pendiente de 45 °.

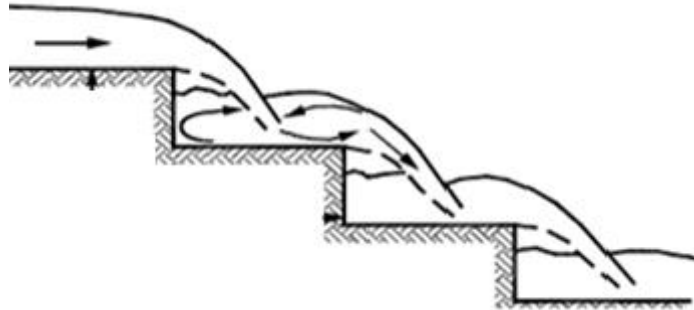
#### ***4.4.7.2 Disipadores de Energía con Pantallas Deflectoras, Escalonado y Estructuras Disipadoras.***

Estas obras se caracterizan por tener Canales colectores y pantallas disipadoras por las cuales el agua recogida por los canales e interceptores es entregada a canales de alta velocidad generalmente en la dirección del talud. Las alturas verdaderas de flujo son mayores que las calculadas por la ecuación de Manning por la presencia de aire atrapado. Se presentan dos tipos diferentes de canales: el canal rápido y el canal en gradería.

El canal rápido se construye a una pendiente igual a la del talud, en ocasiones se le colocan elementos sobresalientes en su fondo para disipar energía. Este sistema es muy utilizado por ser más económico, pero presenta el problema de la poca energía disipada. A lo largo de las canaletas se recomienda colocar elementos que produzcan gran rugosidad para generar flujo amortiguado y minimizar la velocidad en su pie.

Este tipo de estructuras se observan en el corredor vial en el Km 12+ 040 es utilizada para épocas de lluvia donde el talud recibe abundante agua por lo que se hace necesario esta obra hidráulica, para darle una dirección al flujo de agua con el fin de evitar que se infiltre en el

talud y así prevenir un derrumbe en esta zona que es propensa a movimientos de este tipo.  
(Maccaferri, 2013, pág. 365)



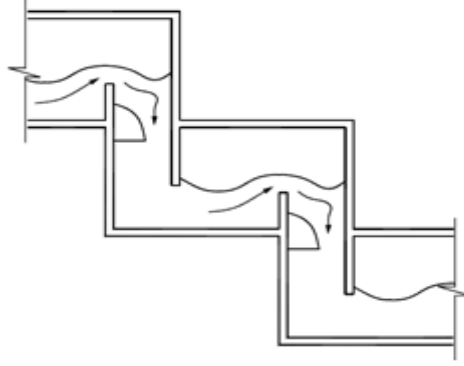
**Ilustración 5 Esquema general**

Fuente: (Maccaferri, 2013, pág. 365)

### ***Disipadores de energía con pantallas deflectoras***

Esta estructura consiste en un canal de sección rectangular con fondo liso dentro del cual se coloca una serie de obstáculos o pantallas deflectoras en ambas paredes del canal, donde se tiene en cuenta que para caudales pequeños el flujo es desviado lateralmente en forma consecutiva como lo es en este caso en el Kilómetro 11+900 donde el caudal no es muy grande. Sin embargo, se hace necesaria esta estructura debido a la inestabilidad que tiene el talud en este punto; también se puede utilizar esta obra para caudales altos, pero en este caso los obstáculos actúan como grandes rugosidades que disipan la energía en el fondo del canal.





**Ilustración 6 Dissipador con pantallas deflectoras**

Fuente: (Maccaferri, 2013, pág. 368)

### ***Rápidas lisas con estructuras de disipación.***

Aquí se encuentra otra estructura con el mismo fin de disipar la energía del agua de escorrentía, pero en este caso, no se utilizan pantallas reflectoras pero sí canales de fondo liso que conducen el agua al pie del talud. En estos canales el agua adquiere grandes velocidades y se requiere la construcción de una estructura de disipación o tanque de amortiguación en el pie del talud como se observa en la imagen 6 ubicada en la primera báscula de la vía Bogotá Villavicencio exactamente en el kilómetro 22+360, donde se encuentra instalada esta estructura. Estas obras de disipación también se pueden construir en sitios a lo largo del canal, de acuerdo con las condiciones topográficas e hidráulicas del canal. (Maccaferri, 2013, pág. 368)



**Ilustración 7. Disipador con lecho de amortiguación.**

Fuente: Elaboración propia

#### ***4.4.7.3 Gaviones para el Control de Erosión.***

El gavión consiste en un recipiente, por lo general paralelepípedo, de malla de alambre galvanizado lleno de cantos de roca. Aunque es una estructura muy antigua empleada por los antiguos faraones utilizando fibras vegetales, su uso solamente se popularizó a principios siglo XX en Europa, extendiéndose posteriormente al resto del mundo. En América los gaviones se emplean extensivamente desde hace cerca de cincuenta años.

En varios países de América se producen alambres dulces, galvanizados y se fabrican gaviones de excelente calidad; sin embargo existen en el mercado mallas utilizadas para gaviones de fabricación deficiente o con alambres de mala calidad. La calidad del alambre y de la malla son factores determinantes en el correcto comportamiento de las obras en gaviones.

Durante los tramos 2,3 y 4 de la vía Bogotá Villavicencio se encuentra bastante esta estructura y en algunos puntos específicos se encuentra combinada con otras estructuras

hidráulicas, para el desarrollo del proyecto se toma la que se encuentra en el kilómetro 11+000 sobre la vía. (Maccaferri, 2013)

**Ilustración 8. Gaviones**



Fuente: propia

### ***Proceso de Galvanizado.***

El alambre se somete a un tratamiento térmico de precocido que le da uniformidad al producto y luego se expone a un baño de zinc por inmersión en caliente o por métodos electrolíticos. Al recubrimiento con zinc se le denomina «galvanizado».

El zinc es un metal anfótero que es capaz de reaccionar químicamente tanto con ácidos como con bases, formando sales de zinc; la reacción del zinc es lenta y se utiliza como protección contra la corrosión.

El principal problema de corrosión es el contacto de los alambres con suelos ácidos, o con agua salada. Los gaviones de alambres metálicos no deben utilizarse en áreas costeras. En años recientes se han desarrollado sistemas de galvanizado con mayor resistencia a la corrosión;

por ejemplo, la firma Maccaferri desarrolló un sistema que emplea una mezcla de Zinc y Aluminio del cual aseguran, aumenta la durabilidad de los alambres hasta en 5 veces a la de un alambre normal, debido a que la camada oxidada formada sobre la superficie del alambre, después de los primeros años, actúa como elemento de protección que posteriormente reduce el proceso de oxidación del alambre.

### ***Mallas.***

Se emplean tres tipos generales de malla: malla hexagonal o de torsión, malla de eslabonado simple y malla electrosoldada; la primera, la malla hexagonal ha sido la tradicionalmente utilizada en todo el mundo, la cual tiene ese nombre debido a que tiene forma de hexágono.

Las dimensiones de la malla se indican por su escuadría, la cual incluye el ancho entre los dos entorchados paralelos y la altura o distancia entre entorchados colineales. Los gruesos del alambre varían según las dimensiones de las mallas aumentando proporcionalmente con estas.

### ***Malla hexagonal.***

De los gaviones de triple torsión permite tolerar esfuerzos en varias direcciones sin que se produzca la rotura, conservando una flexibilidad para movimientos en cualquier dirección. En el caso de romperse la malla en un punto determinado esta no se deshilará, como ocurre con la malla eslabonada. Sin embargo, la presencia de esfuerzos en las dos direcciones que concluyen en los entorchamientos ha sido mencionada como el principal defecto con respecto a otros tipos de malla. La rotura de las mallas a triple torsión ocurre generalmente en uno de los alambres que concurren al entorchamiento y muy cerca de este último, o sea en el alambre que

se ha desentorchado, el cual se rompe a una tensión menor que la carga de falla para el alambre simple.

### ***Mallas eslabonadas.***

En las mallas eslabonadas no existe unión rígida entre los alambres, obteniéndose una mayor flexibilidad ya que permite el desplazamiento relativo de los alambres. Su empleo en Europa se refiere a obras en zonas de gran socavación hidráulica, empleando alambres de tres milímetros de diámetro. Su uso en Colombia se limita por lo general a alambres de calibres diez a doce y para su construcción no se requieren equipos especiales pero su gran flexibilidad dificulta un poco su conformación en el campo.

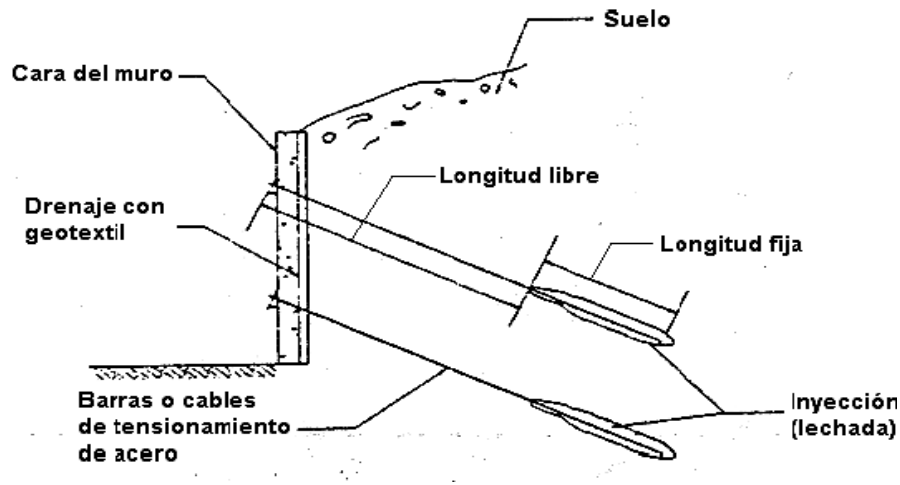
Aunque no existe pérdida de resistencia por entorchamiento de la malla, al romperse un alambre, se abre toda la malla. Los espaciamientos entre alambres varían por lo general de cinco a doce centímetros, empleándose mayor diámetro del alambre a mayor separación.

### ***Mallas electrosoldadas.***

La malla electrosoldada es más rígida que las eslabonadas y las hexagonales y su conformación se hace en cuadrículas de igual espaciamiento en las dos direcciones. Su comportamiento ha sido eficiente en Europa en obras donde se requiere de cierta rigidez. La mayoría de los gaviones construidos en Bucaramanga (Colombia) son de este tipo con un comportamiento eficiente por lo general. Su fácil conformación en el campo y su economía de construcción los ha hecho populares y su uso se ha extendido especialmente a obras de construcción de carreteras. Su diámetro de empleo varía de alambres calibre diez a doce con espaciamientos de siete a doce centímetros. (Maccaferri, 2013, pág. 231)

#### ***4.4.7.4 Muro Anclado Como Alternativa para el Control de Erosión.***

Los anclajes de la tierra son elementos estructurales que se introducen en la masa de suelo o roca y actúan restringiendo el movimiento del muro de contención.



**Ilustración 9. Componentes principales de un muro anclado.**

Fuente. (Lopez, 1996)

**Acero preesforzado:** tensores de alambre o barras, sencillos múltiples.

**Longitud de anclaje:** la porción del acero preesforzado que se les fija a la lechada inicial.

**Longitud no anclada:** la porción del acero preesforzado que no se fija o se entraba.

**Cabezal de anclaje:** Tuerca plana y roscada que permite el preesfuerzo del acero.

#### ***Mecanismos típicos de fallas.***

**Falla de talud:** el muro se desplaza completamente dentro de la cuña movilizada, cuyas dimensiones superan la profundidad de anclaje y cimentación.

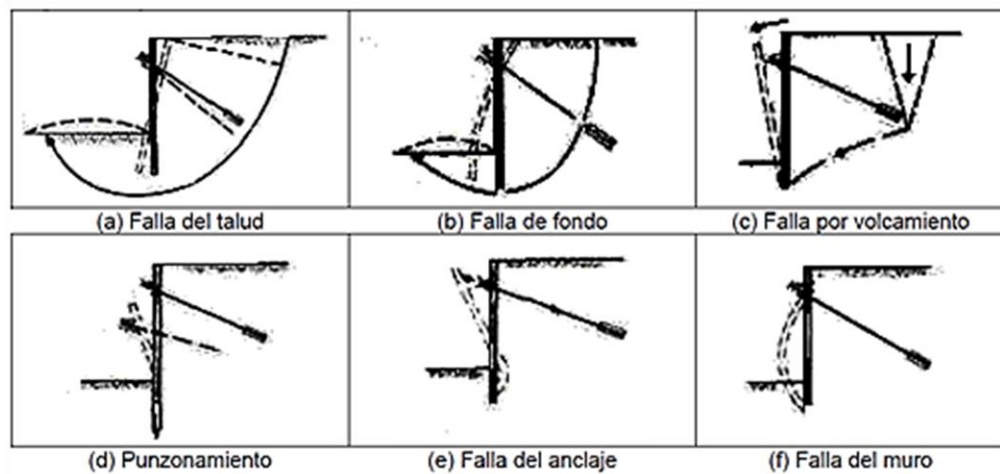
**Fallas de fondo:** Se identifican desplazamientos de la base del muro y del suelo por delante de éste, son que la cuña generada supere la profundidad de anclaje.

**Fallas por volcamiento:** el bloque movilizado supera la profundidad de anclaje y la geometría de la cuña de falla favorece el volteo de la estructura.

**Punzonamiento:** Las fuerzas verticales ejercidas por el muro superan la capacidad portante de suelo de fundación, produciéndose un desplazamiento vertical.

**Falla de anclaje:** La capacidad de carga de los anclajes no es suficiente ante las fuerzas ejercidas, permitiendo el movimiento del muro.

**Falla de muro:** Ocurre debido a una deficiencia estructural generalizada del muro, el cual se deforma por encima de límites admisibles, debido a las presiones ejercidas por el terreno.



**Ilustración 10. Tipos de falla en un muro anclado.**

Fuente: (Lopez, 1996)



**Ilustración 11. Muro Anclado, vía Bogotá- Villavicencio km 15**

Fuente: Propia.

#### **4.5 Marco Legal**

El Código Nacional de Recursos Naturales **Decreto 2811 de 1974**, precedente a la presencia de un instrumento de manejo y control ambiental que ha sido considerado como el precedente de la Licencia Ambiental y del Estudio de Impacto Ambiental. Esto se ve reflejado en el artículo 119 el cual promulga:

*“Tiene por objeto promover, fomentar, encauzar y hacer obligatorio el estudio, construcción y funcionamiento de obras hidráulicas para cualquiera de los usos de los recursos hídricos, para su defensa, conservación- se enfatiza en diferentes artículos que exigen la obligación del trámite para el otorgamiento de la licencia ambiental.” (Art. 119)*



Sobre las **licencias ambientales Decreto 1220 de 2005**, destaca a qué tipo de proyectos se otorga o niega lo cual debe cumplir para prevenir, mitigar, corregir, compensar y manejar los efectos ambientales del proyecto, obra o actividad autorizada. En este caso va dirigido a proyectos de la red vial nacional que hace referencia a: construcción de carreteras, construcción de segundas calzadas, ya que puede producir deterioro grave a los recursos naturales renovables o al medio ambiente o introducir modificaciones considerables o notorias al paisaje.

Por otro lado está la **Constitución Política de Colombia** que establece que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. (Art. 79)

***Manual de Inspección visual e obras de Estabilización – Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras, Convenio interadministrativo 0587-03. Volumen 1 de 1.***

Este documento es una recopilación Bibliográfica de la Universidad Nacional de Colombia y El Instituto Nacional De Vías con respecto a la inspección y al reporte de los daños que se pueden encontrar en las obras de estabilización. En este manual se presentan formatos de diligenciamiento de información en campo para la evaluación del estado de las obras y contiene la explicación de la metodología para su utilización.

## 4.6 Marco Geográfico

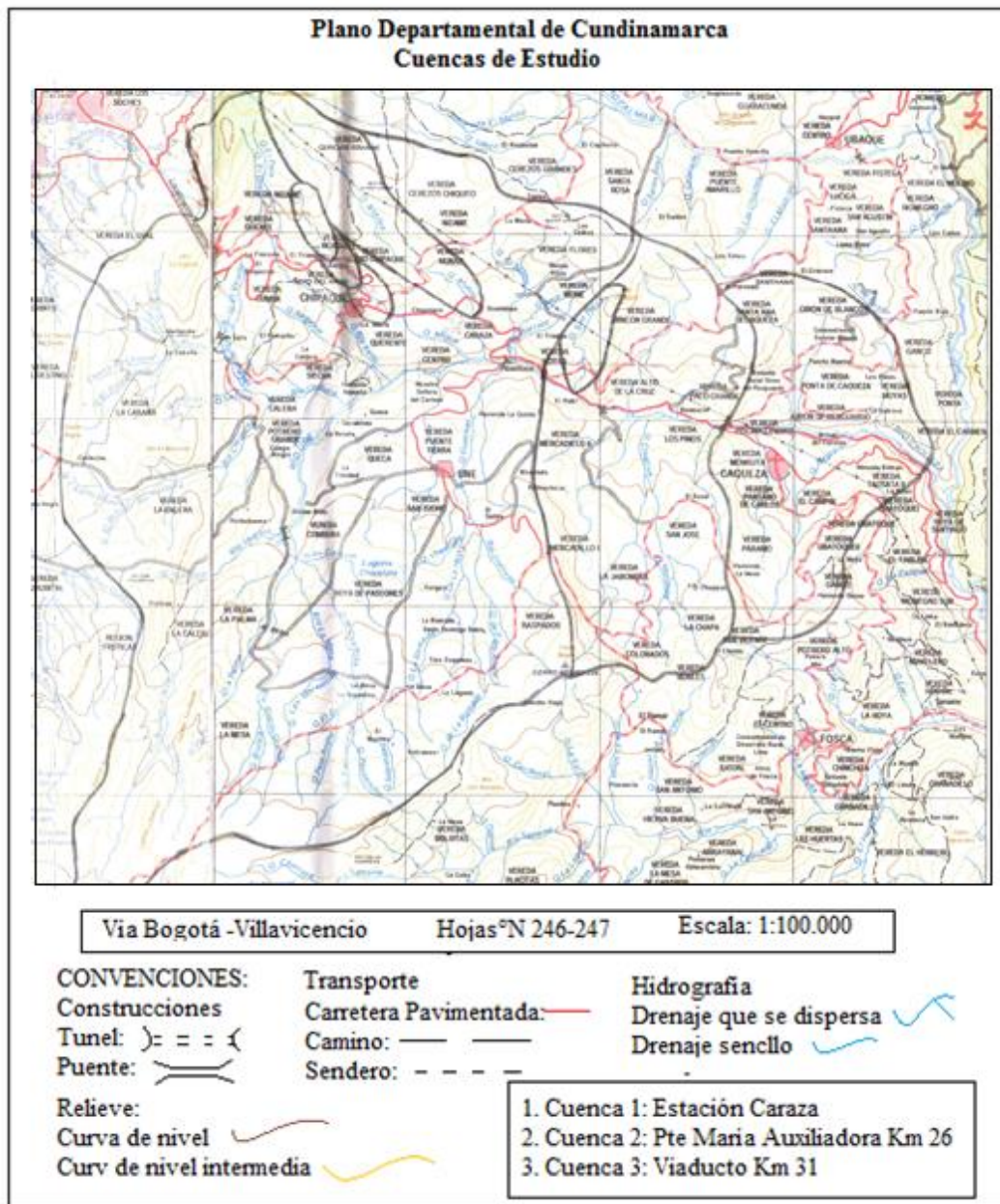
### 4.7.1. Área de estudio.

El área de interés se ubica entre los municipios de Chipaque y Caquezá. El estudio se realiza para varias Cuencas y Microcuencas divididas de la siguiente manera tal como se muestra en la siguiente tabla y en la imagen.

**Tabla 5. Cuencas y Microcuencas de Estudio.**

<b>Cuencas</b>	<b>Curso</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Área [Km<sup>2</sup>]</b>
1	Estación Carraza	0426 N	7402 W	13.37
2	Pte. María Auxiliadora	1014614	0979801	2.64
3	Viaducto	1018396	0978771	2.53
Microcuencas	Obra control erosión	X	Y	Área [Km2 ]
4	Gavión	1003851	0983589	0.08
5	Disipador Energía	1003900	0983187	0.15
6	Disipador Energía	1006751	0983188	0.15
7	Bascula	1010388	0980381	0.15

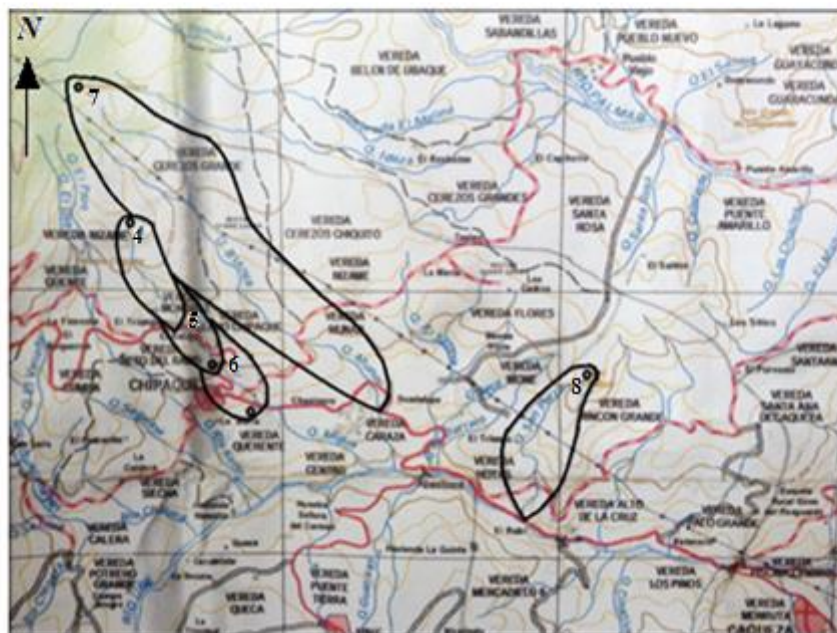
Fuente: Elaboración propia.



**Ilustración 12. Cuencas de estudio.**

Fuente: Elaboración Propia

### Plano Departamental de Cundinamarca Microcuencas de Estudio



Via Bogotá -Villavicencio

Hojas°N 246-247

Escala: 1:100.000

#### CONVENCIONES:

##### Construcciones

Tunel: )= = (

Puente: ————

##### Relieve:

Curva de nivel

Curv de nivel intermedia

##### Transporte

Carretera Pavimentada: ————

Camino: ————

Sendero: - - - -

##### Hidrografia

Drenaje que se dispersa

Drenaje sencillo

4. Microcuenca (Gaviones)

5. Microcuenca: Disipador de energia

6. Microcuenca: Disipaor de energia

7. Microcuenca: Muro de conntención

8. Microcuenca: Bascula

Ilustración 13. Microcuencas de estudio

Fuente: Elaboración Propia

## **5. Diseño Metodológico**

### **5.1 Hipótesis**

Los diseños para el control de erosiones traerán beneficios para la población que se moviliza por la vía, por lo tanto se reducirán los derrumbes y accidentes que se puedan presentar por el movimiento de masa debido a la inestabilidad de la pendiente de la cordillera central. En el puente María Auxiliadora se evitaría el deterioro de las columnas debido a la erosión que se genera por el aumento del nivel del agua en temporadas de lluvia.

### **5.2 Tipo de Investigación**

La investigación de este proyecto es de tipo cualitativa-cuantitativa puesto que el desarrollo se basa en el análisis de los estudios del estado de los diseños y del medio ambiente de las obras hidráulicas para el control de erosión en la vía y se hace una revisión de los cálculos para el vertedero tipo Creager que se encuentra en el puente María Auxiliadora; sumado a ello, se efectúa el planteamiento de las fichas de manejo ambiental para las obras en taludes y ríos.

La fase cuantitativa porque se requiere hacer un diseño hidráulico para el control de erosión ya que de esta manera se adquieren conocimientos además de que se hace la elección correcta del diseño que permite reducir los riesgos en la vía, se identifican las características de beneficio en pro de la población y el medio ambiente respectivamente, utilizando herramientas como los instrumentos de medición para recolección de datos e información.

### 5.3 Método de Investigación

En la siguiente tabla se plantean diferentes actividades para llevar a cabo los objetivos específicos del presente proyecto.

**Tabla 6. Método de Investigación**

<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>METODOLOGIA</b>
Identificar las condiciones geológicas y geomorfológicas de las zonas de estudio, para determinar los riesgos o posibles afectaciones que se generen en el proyecto.	Realizar una revisión de la Licencia Ambiental de la vía de las características de la zona de estudio y otros proyectos.	Revisión de la información de documentos relacionados y estudios realizados, con el fin de conocer más información de la zona del área de estudio.
	Identificar zona de estudio en cartografía del Municipio de Cundinamarca escala 1:100.000 de la zona.	Identificar la cuenca del Río Cáqueza, a partir de la cartografía se obtendrá una serie de rasgos topográficos que son importantes para el diseño hidráulico que realizará en la zona del puente María Auxiliadora y viaducto.
	Analizar el estado de los diseños, ubicación GPS (Visita, registro Fotográfico).	Seleccionar y diagnosticar el estado de los diseños.
Analizar el estudio hidrológico de la zona, para identificar los problemas de erosión del tramo kilómetro 1 al kilómetro 24 de la vía y aguas arriba del puente María Auxiliadora.	Trazar la cuenca de estudio para el diseño del vertedero tipo Creager.	Evaluar las condiciones en las que se encuentra la estructura.
	Trazar la cuenca de estudio para el diseño del vertedero tipo Creager.	Valorar las características de la zona.
Diseñar herramientas para el diseño y seguimiento de las obras de control de erosión a los taludes en la zona de estudio y el puente María Auxiliadora.	Realizar el diseño del vertedero tipo Creager.	Trazar la cuenca de estudio para el diseño del vertedero tipo Creager
	Comparar los datos en los diseños de los taludes.	Realizar la sistematización de los cálculos acorde a los parámetros establecidos de diseños hidráulicos de los taludes.
	Desarrollar fichas de manejo ambiental para las obras.	Evaluar los diferentes diseños para el seguimiento de las obras de control de erosión en taludes.

Fuente: Elaboración propia.

## **5.4 Técnicas Para La Recolección de Información**

### **El proyecto se desarrolló en distintas fases:**

En la primera fase se clasificó la zona, se desarrolló trabajo de campo en el cual se elaboró un proceso de identificación y medición de las obras que se seleccionaron.

En la siguiente fase se desarrolló el diseño de las cuencas (estación Caraza, Aguas arriba en el río Caquezá para el puente María Auxiliadora y el viaducto); en el plano cartográfico, para el análisis del esquema del vertedero tipo Creager y las obras de control de erosión en taludes con el fin de seleccionar la mejor alternativa de diseño.

En la tercera y última fase se analizaron los resultados comparando tanto datos como evidencias físicas para la elaboración de fichas para el seguimiento de manejo de las obras para control de erosión en taludes y ríos.

## **6. Resultados**

### **6.1 Información Mínima Necesaria**

#### **6.1.1 Geología.**

El corredor vial se encuentra por zonas de estratigrafía compuesta por depósitos aluviales y coluviones originados por el río Negro como sus afluentes. En algunos sectores se desarrollan terrazas con morfologías planas a onduladas.

La formación que presenta la vía son areniscas caracterizada por tener una topografía muy abrupta a lo largo de la margen derecha de la angostura del río Negro. Estas formaciones geológicas presentan excelentes condiciones de autosoporte dada la estructura y la dureza de las rocas para la estabilidad del talud; sin embargo no se debe dejar de lado el hecho de que el corredor vial se sitúa en zona de alto riesgo sísmico puesto que se presentan diferentes fallas con diversos rumbos y desplazamientos, lo que conlleva a ser vulnerable a deslizamientos y movimientos en masa.

De igual manera, en algunos tramos se presenta el riesgo o la amenaza de inundación debido a la cercanía de la vía con el río Negro como sus afluentes; por tal razón, es de gran importancia que se ejecuten las medidas de manejo ambiental necesarias para prevenir y controlar estos impactos.

#### **6.1.2 Geomorfología.**

En relación con las características geomorfológicas del corredor vial, se debe decir que esta se desarrolla por unidades de planicies aluviales, vertientes suaves a moderadas y vertientes empinadas. Su topografía va desde suave o prácticamente plana en los depósitos aluviales y



llanuras del río Negro, hasta vertientes con pendientes de 45° o mayores en las zonas de escarpes.

Estas condiciones geomorfológicas asociadas a las condiciones geológicas, hacen que en el área de influencia en especial en las vertientes empinadas, se presente vulnerabilidad, riesgo o amenaza de deslizamientos o remoción de material en masa, por lo cual se hace necesaria la implementación de las medidas de manejo para la contención de material, taludes y manejo de aguas, entre otras.

En lo referente al uso del suelo, esta vía se despliega por zonas dedicadas a cultivos transitorios, ganadería, así como zonas habitacionales, comerciales y de explotación minera aluvial. Todo lo anteriormente nombrado se da en aquellos lugares en donde las condiciones topográficas lo permitan puesto que en las laderas de pendientes altas no se presenta un uso definido como tal y más bien se presentan zonas con alto índice de deforestación y suelos erosionados por las condiciones antrópicas y climáticas de la zona.

## **6.2. Hidrogeología**

El corredor vial no cuenta con sistemas lénticos, sino se identifica por tener una cantidad considerable de sistemas lóticos o también llamados cauces de piedemonte y de valle aluvial, los cuales se unen hacia la cuenca del río Negro, y otros ríos como: río Sáname, las quebradas Naranjal, Trapichito, Honda, Monterredondo etc., ya que por su caudal, magnitud e importancia hacen parte de esta vía. Para ello se efectuaron los estudios y análisis para determinar las obras hidráulicas a construir con especificaciones necesarias de acuerdo con la dinámica de cada cuerpo de agua.

Cabe aclarar que para la construcción de obras hidráulicas, se encuentra el hecho de que los cuerpos de agua en los tramos 2, 3 son considerados de alta vulnerabilidad para los eventos de avalanchas o flujos de lodos, a pesar del aparente buen estado de las cuencas.

Por otro lado los estudios de calidad de agua que se llevaron a cabo en los cuerpos de agua a ser cruzados por el corredor vial, dio como resultado que la mayoría de ellos presentara contaminación por mineralización, sólidos suspendidos. Adicionalmente, son eutróficos y por otra parte, la contaminación a causa de materia orgánica es baja para los tramos 3 y 4, a excepción del río Negro que es considerada media. (Ministerios De Ambiente vivienda y Desarrollo territorial; Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, 2010)

#### **6.2.1 Recurso Hídrico.**

Los micro-cuenca identificados para la zona se caracterizan por ser corrientes efímeras, es decir, solo llevan agua en época de lluvias. Estas corrientes forman parte de la subcuenca del río Caquezá que a su vez conforma la cuenca del río Negro.

A nivel de disponibilidad de agua, se encuentra que existe deficiencia entre los meses de enero a abril y diciembre. En los meses de mayo, julio y octubre existen algunas reservas de agua.

El incremento del uso del recurso del agua obliga a tener un conocimiento del comportamiento hidrológico del municipio para así aprovecharlo integralmente en las diferentes actividades humanas, así como para la conservación de los recursos flora y fauna.

Por ser el agua un elemento integrado en el desarrollo socioeconómico de una región y por ser la base del sistema de recursos de una cuenca se consideran éstas como unidades

ambientales naturales de análisis para el conocimiento de su comportamiento con el fin de mantener tanto su calidad como su disponibilidad.

### **6.2.2 Cuenca Del Río Cáqueza.**

El río Cáqueza toma su nombre al entrar al municipio del mismo nombre, luego de la confluencia de los ríos Une y Guativas. Su recorrido es corto haciéndolo de occidente a oriente. Luego de recibir las aguas del río Une recibe las aguas de varias quebradas por las dos márgenes como Puente Gallo, del Guamo, San Porro, La Mendoza que nace en la Laguna Negra, Cinativa, Santa Rosa, Las Manitas y Negra; los cuales, beneficiando en buena parte el municipio de Cáqueza, Entrega sus aguas al río Negro a una altura aproximada de 1400 m. De acuerdo con la codificación de unidades hidrográficas el río Cáqueza se comporta como una subcuenca de la cuenca del Río Negro.

El área del río Cáqueza dentro del municipio es de 8147.02 has, que corresponden al 72.4% del área total del municipio. Se ubica a los 1750 metros sobre el nivel del mar y pertenece los climas extremadamente frío pluvial, frío seco y húmedo así como medio seco.

**Tabla 7. Características morfométricas de la cuenca.**

Cuenca	Área Km2	Longitud corriente principal (Km)	Perímetro (Km)	Longitud Axial (Km)	Ancho promedio (Km)	Forma de la cuenca (Kc)
Rio Cáqueza	294.3	34.71	83.67	24.73	11.90	Oval redonda a Oval-oblonga a las crecidas

Fuente: (Páez, 2013)

### **6.2.3 Estado actual de la cuenca.**

La fuente principal presenta un caudal de 7,84 m<sup>3</sup>/s. El uso fundamental que se le está dando al recurso agua es el consumo humano y la producción agropecuaria; Las coberturas forestales que protegen a esta fuente son muy limitadas, por consiguiente la fauna de ésta zona no es muy significativa bajo estas condiciones.

El río cuenta con un bajo poder de captación de aguas lluvias, índices de escurrimiento muy altos y procesos erosivos moderados; se requiere de prácticas de manejo para disminuir la velocidad de las aguas de escurrimiento y mantener los procesos erosivos dentro de los niveles normales. Esto se debe al conflicto de uso de los suelos que se presentan en la are de influencia cercanos a la cuenca del río Cáqueza.

El camino de herradura existente en el margen izquierdo de la cuenca y el carretable de la margen derecho que actualmente son utilizados por la población cercana a la cuenca para el transporte y posterior comercialización de los productos agropecuarios así como los desplazamientos a los diferente municipios de Cundinamarca, son vía de entrada esporádica de ganado. (Abner, 2013, págs. 27,30)

### **6.3 Aspectos Climáticos**

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM- cuenta con estaciones en el municipio de Une, estas estaciones reportan datos las 24 horas del día, todos los días del año, en estos momentos desde hace varios años no se registran datos.

Con los registros de las siguientes estaciones se utilizan para el desarrollo del proyecto, la descripción climatológica es referida a partir de información secundaria de los datos Estadísticos de Hidrología y Climatología con registro de años 1986 a 2006, que se encuentra disponible de la estación Las Casas identificada con el código 3503008 de tipo pluviográfica (PG), ubicada a 2100 metros sobre el nivel del mar, en el municipio de Cáqueza, dadas las coordenadas (0427N- 7356W).

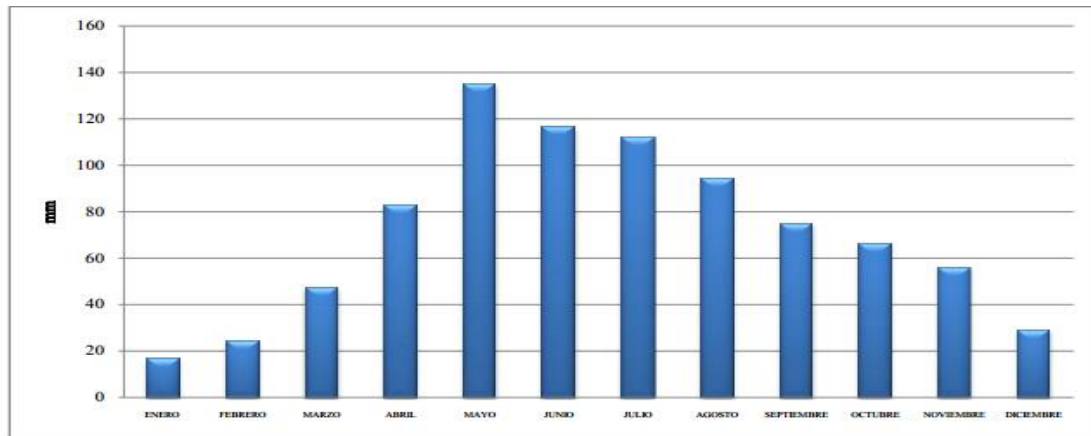
También se encuentra la estación CARAZA identificada con el código 3502710 de tipo Lignigráfica (LG), ubicada 2020 metros sobre el nivel del mar, en el municipio de Cáqueza, dadas las coordenadas (0426N-7402W), para esta estación se tomara en cuenta los últimos 18 años dados los registros del año 1992 a 2009 en caudales máximos anuales, administrada por el IDEAM.

A continuación se presenta el análisis de los datos arrojados por las estaciones meteorológicas anteriormente nombradas, esto con el fin de conocer las características climáticas del municipio además estas se tienen en cuenta para el desarrollo del proyecto.

### **6.3.1 Precipitación.**

Las lluvias comienzan a evidenciarse en el mes de marzo y su intensidad se empieza a notar a medida que avanzan los meses, teniendo un tope máximo hasta el mes de julio con lluvias promedio entre 60 y 105 mm/mes. Se inicia el descenso de las mismas hasta finales de noviembre y en algunos sectores a principios de diciembre con precipitaciones entre 15 y 50 mm/mes, para un total de 9 meses lluvias marcadas; su máxima intensidad se presenta en consecuencia de que en este lapso la ZCIT se desplaza hacia el norte

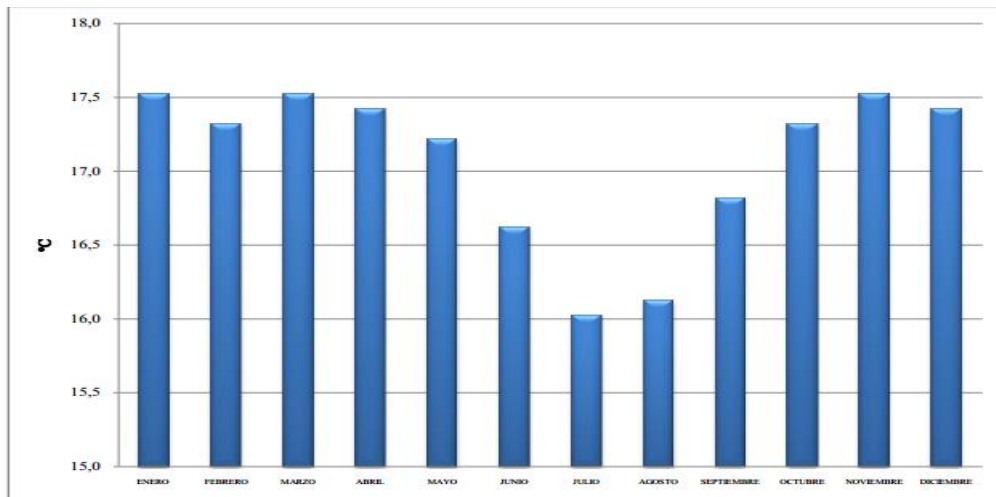
**Tabla 8. Variación de la precipitación, Estación las Casas**



Fuente: (Ideam, 2006)

### 6.3.2 Temperatura.

Se observa que la temperatura es inversamente proporcional a la precipitación. Es evidente que al disminuir las lluvias, aumentan las temperaturas y si estas bajan es por el aumento o llegada del periodo húmedo. La temperatura media oscila entre 16°C en el mes de julio y 17,5°C en los meses secos. De acuerdo con la información de la Estación las Casas.



**Ilustración 14. Variación de la Temperatura, Estación Las Casas**

Fuente: (Ideam, 2006)

### **6.3.3 Humedad relativa.**

Esta estación presenta valores medios que fluctúan entre 89% y 94% de humedad relativa

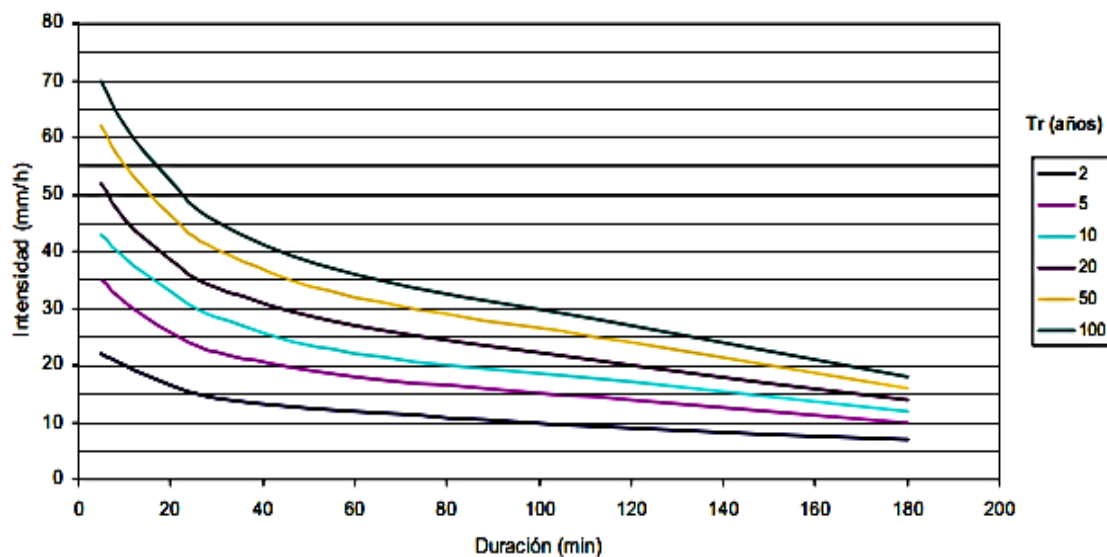
### **6.3.4 Evaporación.**

La evaporación es un parámetro que está sujeto a la precipitación y a la incidencia de la temperatura, para la estación de las Casas la evaporación en los meses secos es relativamente baja, alcanzando a superar los 54 mm en el mes de agosto, y cuando va entrando el tiempo de lluvia o tiempo húmedo se disminuye la evaporación hasta alcanzar los 72 mm en el mes de junio. La evaporación anual supera los 740 mm. (Ingenieros Consultores, 2013)

### **6.3.5 Intensidad de precipitación.**

Para el análisis de las curvas IDF, se utilizó la estación “Las Casas”, la cual se encuentra ubicada en el municipio de Une, en el Río Caquezá y proporciona la información de precipitación utilizando las gráficas de fluviógrafo de la base de datos del IDEAM, la metodología se aplica en la selección de los valores en función del tiempo y total de precipitación; como se observa en la lustración 15.

La intensidad de precipitación que debe usarse en la estimación del caudal máximo de aguas lluvias corresponde a la intensidad media de precipitación dada por las curvas IDF para el periodo de retorno de diseño que se asume para la investigación y una duración equivalente al tiempo de concentración de la esorrentía.



**Ilustración 15. Curva de Intensidad Duración Frecuencia, Estación Las Casas**

Fuente: (Estudios y Diseños Para La Construcción Del Plan Maestro De Acueducto Y Alcantarrillado Del Municipio De Une -Cundinamarca, 2013)

**Tabla 9. Valores de la precipitación (mm/hora). Estación las Casas Cáqueza**

Tiempo retorno (años)	Intensidad de la lluvia (mm/h)						
	Duración de la lluvia (minutos)						
	5	10	20	30	60	120	180
2	22	20	17	14	12	9	7
5	35	31	26	22	18	14	10
10	43	38	33	28	22	17	12
20	52	45	39	33	27	20	14
50	62	55	47	40	32	24	16
100	70	62	53	45	36	27	18

(Estudios y Diseños Para La Construcción Del Plan Maestro De Acueducto Y Alcantarrillado Del Municipio De Une - Cundinamarca, 2013)

#### 6.4. Selección del Período de Retorno

Con la información obtenida se procede a realizar el análisis de la relación entre la intensidad de precipitación en minutos para un periodo de retorno considerado de 100 años. Esto permite que a medida que aumenta el tiempo de retorno, la precipitación siempre aumente y siga



aumentando, aspecto que se debe tener en cuenta en el momento del diseño para el vertedero tipo Creager. Esta es la estructura que se quiere construir para que dure un buen tiempo y que no presente complicaciones en su formación a medida que aumente las precipitaciones con los años.

## **6.5 Análisis Estadístico de Datos Hidrológicos**

Con base en la determinación del área aguas arriba de la estación Caraza, del puente María auxiliadora sobre la corriente del río Cáqueza, se calcula el caudal máximo de diseño que contribuye a cada área del puente y el viaducto.

La determinación del caudal máximo de diseño para el vertedero tipo Creager, no solo se tiene en cuenta la localización de la cuenca en el plano cartográfico y además de la información de los caudales de la estación CARAZA, los cuales ayudan al cálculo más estimativo del caudal de diseño.

Para los fines de este proyecto, se procedió al cálculo del caudal de diseño teniendo en cuenta los últimos 18 años de la estación CARAZA con los registros de caudales máximos anuales para relacionarla con el caudal calculado de la cuenca. El método se presenta a continuación:

### **6.5.1 Estación Caraza.**

Esta estación se eligió para el desarrollo del proyecto puesto que es la que está más cercana al área de estudio con una altura de 2100 msnm a comparación de otras estaciones y sobre la corriente del Río UNE, ya que desde este nace el río Cáqueza.

La información fue suministrada por el IDEAM en sus últimos registros del año 2009, desde entonces no se presenta registros de caudales y se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 10. Caudales Máximos Anuales, estación CARAZA**

<b>Año</b>	<b>Caudales m3/s</b>
1992	36,55
1993	44,5
1994	46,6
1995	23,25
1996	79,4
1997	49,38
1998	35,9
1999	46,99
2000	48,22
2001	36,4
2002	80
2003	33,9
2004	70,12
2005	50,06
2006	56,48
2007	22,6
2008	29,6
2009	51,66
<b>TOTAL</b>	<b>46,76</b>

Fuente: (IDEAM, 2013)

### **6.5.2. Modelo de distribución.**

El análisis de frecuencias tiene la finalidad de estimar precipitaciones, intensidades o caudales máximos, según sea el caso, para diferentes períodos de retorno mediante la aplicación de modelos probabilísticos.

En la estadística existen diversas funciones de distribución de probabilidad teóricas; para el desarrollo del proyecto se escoge la siguiente:

#### **6.5.2.1 La fórmula tipo Weibull.**

Para la aplicación de esta fórmula se utilizaron los datos obtenidos de la estación Caraza para los caudales anuales que representan 18 años atrás. Además, se debieron organizar de menor a mayor para calcular la probabilidad para luego utilizar dichos datos en la gráfica Gumbel.

**Tabla 11. Datos ordenados de menor a mayor para los caudales de la estación Caraza**

i	Caudales m3/s	Probabilidad
1	22,6	0,05
2	23,3	0,11
3	29,6	0,16
4	33,9	0,21
5	35,9	0,26
6	36,4	0,32
7	36,6	0,37
8	44,5	0,42
9	46,6	0,47
10	47,0	0,53
11	48,2	0,58
12	49,4	0,63
13	50,1	0,68
14	50,1	0,74
15	51,7	0,79
16	56,5	0,84
17	79,4	0,89
18	80	0,95

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan los resultados apoyados con dos gráficas de probabilidad de Gumbel llamados papel de gumbel-aritmetico y papel de gumbel-logarítmico, en donde se

ubican los cálculos obtenidos anteriormente para la probabilidad. Esto se hace con el fin de determinar el caudal de diseño para el vertedero en un periodo de retorno de 100 años.

### 6.5.2.2 Distribución Log Gumbel.

Se presentan las siguientes dos gráficas para determinar el caudal máximo de diseño.

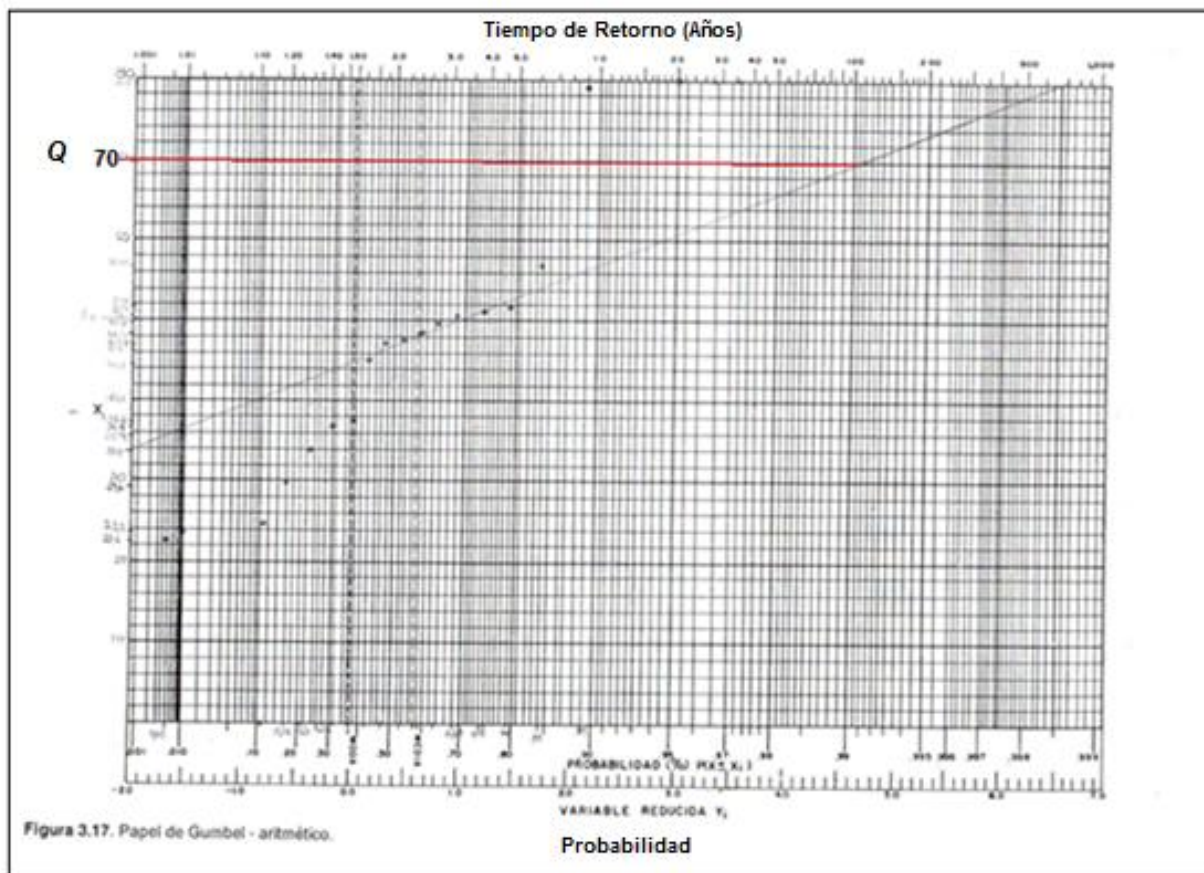
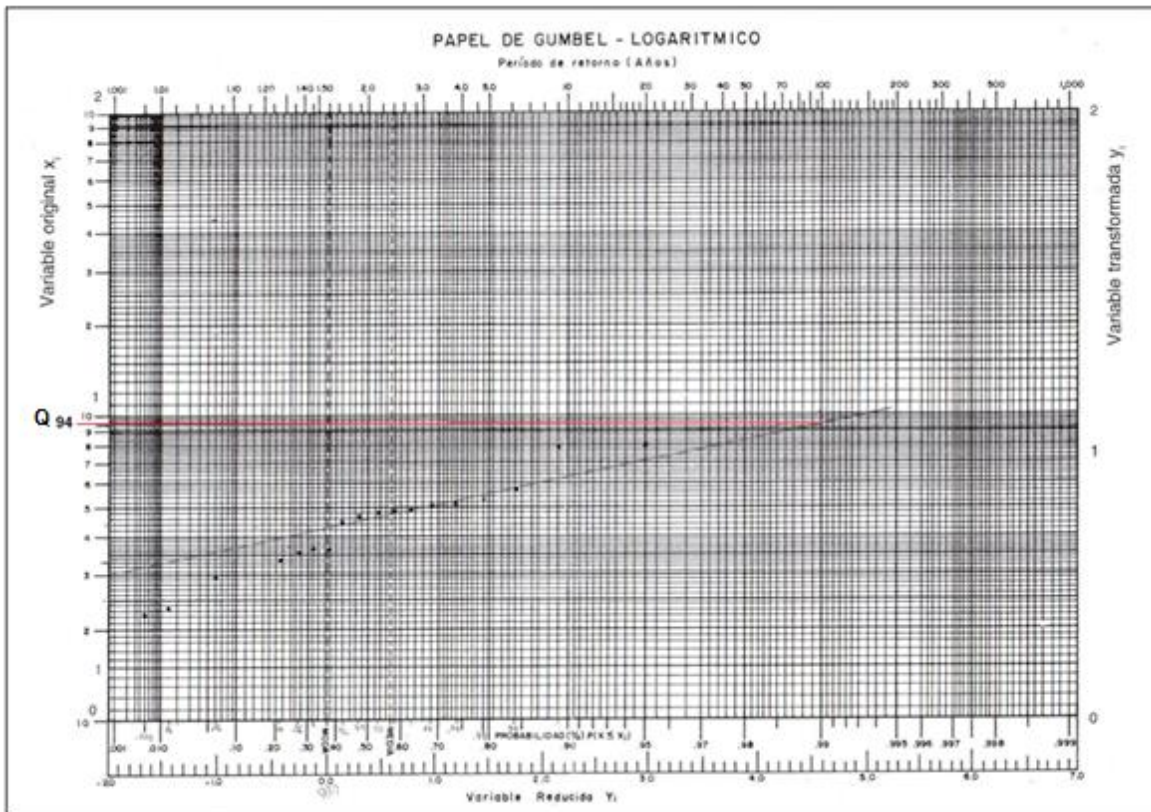


Ilustración 16. Papel de gumbel-aritmetico

Fuente: Elaboración propia.

Se determina que para un periodo de retorno (RT) de 100 años el caudal corresponde a  $70 \text{ m}^3/\text{seg}$ .



**Ilustración 17. Papel de Gumbel- Logarítmico**

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado de la ubicación de las probabilidades se obtuvo un caudal de  $94 \text{ m}^3/\text{s}$ , que corresponde a un periodo de retorno (TR) de 100 años.

De acuerdo con el resultado de las ilustraciones 16 y 17 se obtuvieron dos caudales (70 y  $94 \text{ m}^3/\text{s}$ ), los cuales se promedian para obtener el caudal de diseño que es  $82 \text{ m}^3/\text{s}$ , que más adelante se utilizará como parámetro principal para el diseño del vertedero Creager.

### **6.5.2.3 Estimación de caudales.**

Cuando no existen datos de aforo se utilizan los datos de precipitación de la estación como datos de entrada a una cuenca que producen un caudal (Q). Cuando se produce precipitación, la cuenca se humedece totalmente de manera progresiva, infiltrándose una parte en el subsuelo y la otra se convierte en flujo superficial.

Se realiza un análisis estadístico de los caudales máximos anuales para la estación más cercana al punto de interés, en este caso CARAZA. Se calculan los caudales para el período de retorno de interés (100 años son valores estándar) usando la distribución Gumbel, según el numeral 6.5.2.2

En este caso se realizó regla de tres para determinar los caudales faltantes para el Puente María Auxiliadora y para el Viaducto como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 12. Caudales Máximos**

<b>Cuenca</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>1Estacion CARAZA</b>	13,37	82
<b>2Pte María Auxiliadora</b>	16.01	98.19
<b>3Viaducto</b>	18.54	<b>113.70</b>

Fuente: Elaboración propia

#### ***6.5.2.4 Caudal de Diseño***

Con respecto a la determinación del causal de diseño que se determinó en cálculos anteriores para dimensionar el proyecto, se usó la información proporcionada por el estudio hidrológico (Estimación de Caudales, Numeral 6.5.2.3),

El caudal de diseño que garantiza la estabilidad de las estructuras en este caso para el puente María Auxiliadora y el vertedero Creager, es el de 82m<sup>3</sup>/s teniendo en cuenta el diagnóstico previamente realizado de los daños existentes a causa de la socavación que existe.

##### ***6.5.2.4.1 Diseño Hidráulico para el Vertedero Tipo Creager***

El cálculo hidráulico considerado para establecer las dimensiones mínimas de la sección del vertedero, se fundamenta en la metodología que plantea el autor Hernán Materón en su libro

‘Obras Hidráulicas Rurales’, por ser el procedimiento más utilizado y de fácil aplicación que permite obtener las condiciones óptimas de diseño adecuado.

A continuación se muestra el diseño para el caudal máximo que se determinó por medio de la gráfica Gumbel:

**Tabla 13. Cálculos con el caudal máximo (Vertedero Creager)**

<b>N° de formula</b>	<b>Nombre</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>						
1	Longitud	<b>L [Mts]</b>	25						
	Caudal	<b>Q [m3/s]</b>	82						
	Altura de la Presa	<b>L [Mts]</b>	2						
2	Altura del agua en la cresta	<b>Hd[Mts]</b>	1.47						
3	Relación	<b>[h/hd]</b>	17.01						
4	Velocidad	<b>V [Mts/S]</b>	2.23						
5	Altura de energía	<b>He [Mts]</b>	3.70						
6	Profundidad Critica	<b>Yc [Mts]</b>	1.05						
7	Velocidad Critica	<b>Vc [Mts/s]</b>	3.20						
8	Perfil Aliviadero	<b>X</b>	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	
		<b>Y</b>	0.04	0.14	0.30	0.51	0.76	1.07	
9	Pozo de amortiguación	<b>V1 [Mts/s]</b>	7.32						
10	Altura de la salida	<b>Y1 [Mts]</b>	0.45						
11	Numero de Froude	<b>Nf</b>	3						
12	Altura del diente	<b>h1/Y1 [Mts]</b>	0.31						
13	Altura del resalto	<b>Y2 [Mts]</b>	0.81						
14	Altura del salida del canal	<b>Y3 [Mts]</b>	0.64						
15	Longitud pozo de amortiguación	<b>Lj [Mts]</b>	2.48						
		<b>Lj [Mts]</b>	4.78						
		<b>Promedio Lj [Mts]</b>	3.63						

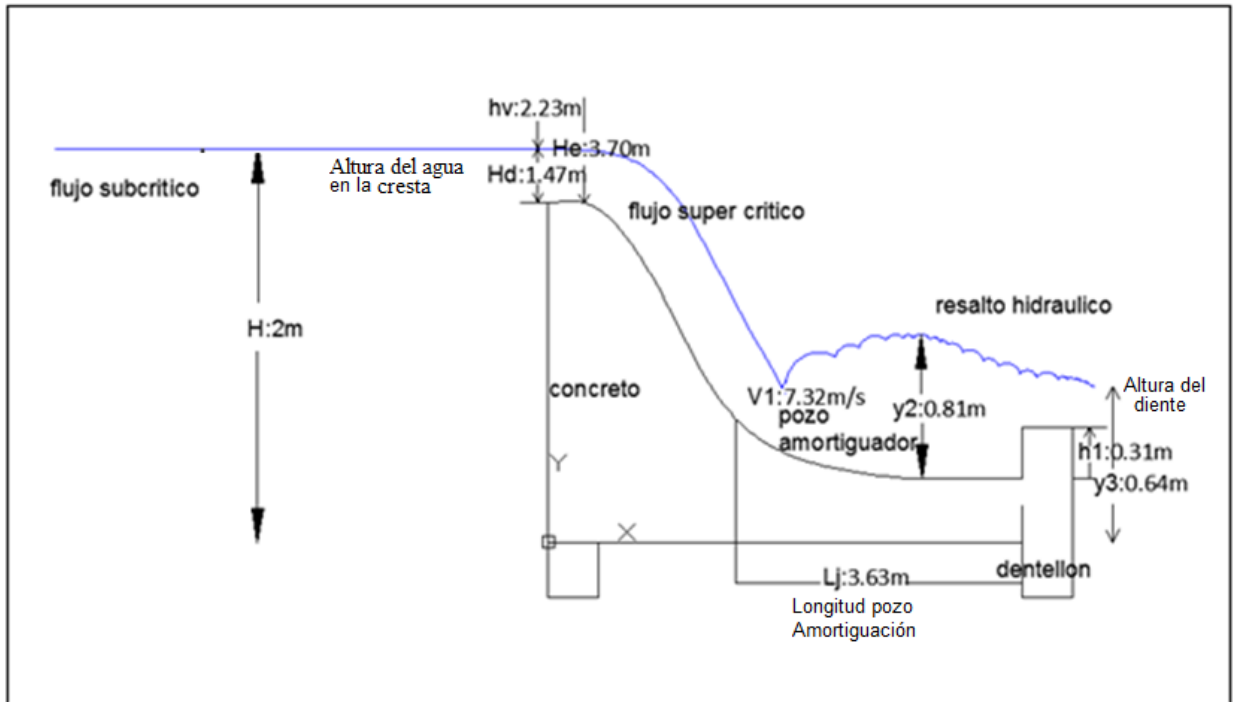
Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior especifica las medidas adecuadas para el diseño del vertedero tipo Creager, teniendo en cuenta las condiciones actuales de la estructura que cuenta con una longitud 10.4m ,esta longitud no es pertinente para el diseño que se plantea para un periodo de retorno de 100 años, debido a que esta estructura fue diseñada para tiempos secos donde el caudal es pequeño y se despreció temporadas de lluvias donde el caudal aumenta considerablemente y sobre pasa la altura de la estructura rebosando por el borde libre, demostrando así las fallas de diseño que llevaron al deterioro de la estructura y su rompimiento.

El objetivo de esta investigación es replantear estas medidas de diseño, para que la estructura tenga una durabilidad de 100 años y no sufra tantos daños en periodos de tiempo muy corto como se viene presentando exactamente en el puente maría Auxiliadora, por lo anterior como primera medida se tiene en cuenta la longitud del vertedero la cual debe ser ampliada aproximadamente a 25 m como parámetro inicial de diseño, acorde con el valor máximo que puede presentar el río en periodo de precipitaciones con valores muy altos, incrementándolo el caudal a  $82\text{m}^3/\text{s}$  y de esta manera se evita que el flujo del agua rebose la estructura.

A continuación se observa los valores calculados para el vertedero Creager, cumpliendo con las condiciones para que la estructura soporte los caudales máximos y así mismo los mínimos, que se presentan en diferentes épocas del año.





**Ilustración 8. Diseño vertedero Creager**

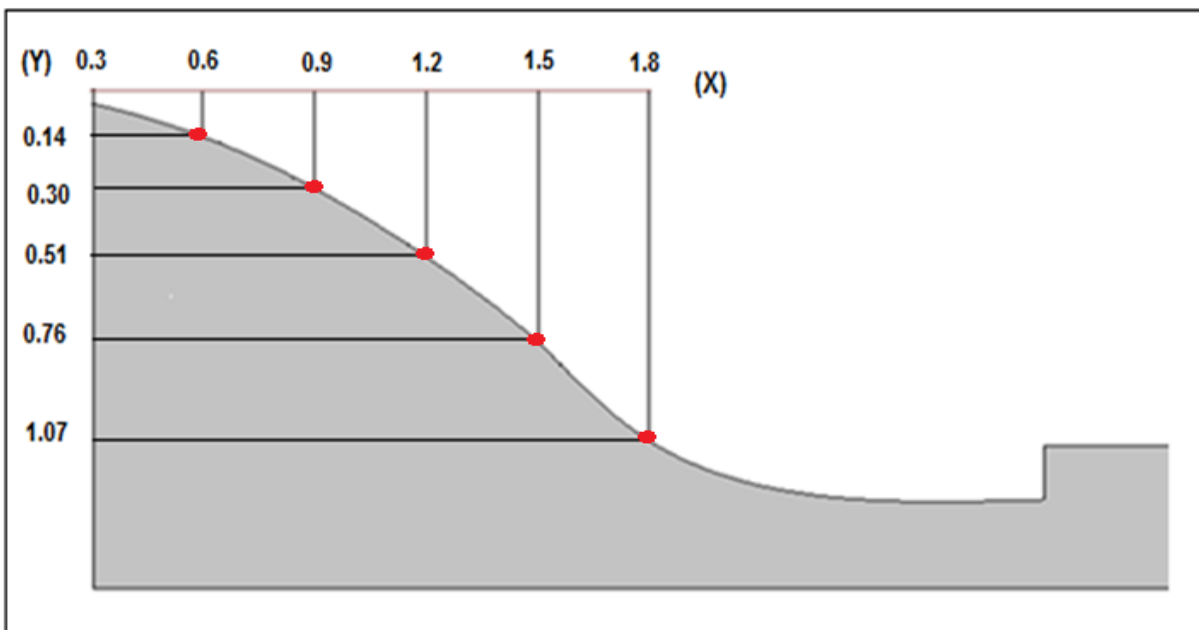
Fuente: Elaboración propia

Otras de las fallas identificadas de la estructura es la ausencia del perfil del aliviadero ya que esta estructura no conto con esta condición de diseño, además de esto no se retiró rocas de gran tamaño lo que genero un resalto hidráulico descontrolado generando socavación en la base de la estructura; teniendo en cuenta este diagnóstico se plantea diseñar el perfil del aliviadero con las dimensiones establecidas en la tabla 13-*Cálculos con el caudal máximo (Vertedero Creager)*, lo que va a permitir producir y al mismo tiempo retener el resalto hidráulico que se genera con el fin de convertir el flujo supercrítico en flujo subcrítico, y así evitar el proceso de socavación que se produzca aguas abajo de la estructura, Asegurando a si la durabilidad del vertedero. A continuación en la figura 18 se puede observar el perfil del aliviadero.

**Tabla 14. Perfil del Aliviadero**

X	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8
Y	0.04	0.14	0.30	0.51	0.76	1.07

Fuente: Elaboración propia



**Ilustración 18. Perfil del Aliviadero**

Fuente: Elaboración propia.

El pozo de amortiguación consiste en una estructura situada al pie del aliviadero con el objeto de producir y retener el resalto hidráulico, por lo anterior el origen de **Y** es en la parte superior de la presa, lo que hace que al aumentar **X** aumente **Y**.

## 6.6 Puntos definidos para estimar el tiempo de concentración para las Microcuencas

Los puntos para estimar el tiempo de concentración, se encuentra en la siguiente tabla con las coordenadas correspondientes.

**Tabla 15. Puntos para estimar el tiempo de concentración.**

Código	Curso	X	Y
4	Quebrada Migua	1003851	0983589
5	Quebrada Migua	1003900	0983187
6	Quebrada Migua	1006751	0983188
7	Quebrada Munar	1007318	0982924
8	Quebrada San porro	1010388	0980381

Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.1 Tiempo de concentración.

Se debe determinar la pendiente con la siguiente formula:

$$S: \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{min}}}{L}$$

Aplicando esta fórmula se obtiene las pendientes para cada una de las Microcuencas, como se ilustra en la siguiente tabla:

**Tabla 16. Pendientes de las Microcuencas**

N° de Microcuenca	Cota Máxima	Cota mínima	Longitud	Pendiente
	[Mts]	[Mts]	[Mts]	
1	3200	2600	2000	0,30
2	3200	2500	3000	0,23
3	3200	2300	4000	0,23
4	3500	2200	10000	0,13
5	2600	2300	3000	0,10

Fuente: Elaboración propia

Aplicando la formula Kirpich, se obtienen los siguientes tiempos de concentración:

$$TC: 0.01595 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

**Tabla 17. Tiempo de concentración para las Microcuencas**

N° de Microcuenca	Longitud	Pendiente	Tiempo de Concentración
	[Mts]		[Minutos]
1	2000	0,30	8,83
2	3000	0,230	13,36
3	4000	0,225	16,82
4	10000	0,13	42,06
5	3000	0,100	18,41

Fuente: Elaboración propia

Al calcular el tiempo de concentración se procede a utilizar la curva Intensidad Frecuencia Duración (IDF), para determinar la Intensidad para cada cuenca, cabe señalar que para el diseño de obras viales, la selección de período de retorno depende de la importancia de la estructura. Los períodos de retorno en obras viales, varían típicamente entre los 25 y 100 años. Es inusual usar períodos de retorno mayores a 100 años en el diseño hidráulico de obras viales.

Para el tipo de obras que se escogieron de drenaje urbano se seleccionó un periodo de retorno de 50 años y con ello se realiza el caudal de escorrentía.

**Tabla 18. Intensidad con un tiempo de retorno de 50 años**

N° de Microcuenca	Tiempo de Concentración	Tiempo de retorno	Intensidad	Intensidad de diseño
	[Minutos]	[años]	[mm/hora]	[l*s/ha]
1	8,83	50	57	158,46
2	13,36	50	51	141,78
3	16,82	50	50	139,00
4	42,06	50	36	100,08
5	18,41	50	49	136,22

Fuente: Elaboración propia

6 Para determinar el coeficiente de escorrentía se tiene en cuenta la siguiente información:

**Tabla 19. Valores típicos del coeficiente de escorrentía C.**

Superficie	Características	Coeficiente C
Superficie de carretera	Pavimentada	0.7 a 0.95
	Destapada	0.3 a 0.7
Talud	Suelo fino	0.4 a 0.65
	Suelo Grueso	0.1 a 0.3
	Roca dura	0.7 a 0.85
	Roca blanda	0.5 a 0.75
Pastizales en suelos arenosos	Pendiente 0 a 2%	0.05 a 0.1
	2 a 7%	0.1 a 0.15
	Más de 7%	0.15 a 0.25
Pastizales en suelos arcillosos	Pendiente 0 a 2%	0.13 a 0.17
	2 a 7%	0.18 a 0.22
	Más de 7%	0.25 a 0.35
Escarpes de fuerte pendiente en Roca		0.75 a 0.95
Arenas intermedias		0.20 a 0.40
Parques con árboles y pastos		0.10 a 0.25
Montañas de pendientes suaves		0.30
Montañas de pendientes fuertes		0.50

Fuente: (Maccaferri, 2013)

El área de drenaje se determinó por medio de un plano geográfico de la zona que muestra las curvas de nivel, definiendo los bordes topográficos de las áreas que aportan agua al sistema de drenaje. Para determinar el caudal de la cuenca del Rio Caquezá aguas arriba y de las Microcuencas se determina con la siguiente ecuación:

$$Q: C * I * A$$

**Tabla 20. Caudales máximos**

Microcuenca	Coefficiente de escorrentía	Intensidad	Área	Caudal	Caudal
N°	C	l*s/ha	Ha	l/s	m³/s
1	0,3	158,46	8,13	386,25	0.39
2	0,3	141,78	15,00	638,01	0.64
3	0,3	139,00	15,00	625,50	0.63
4	0,3	100,08	15,33	460,19	0.46
5	0,3	136,22	15,00	612,99	0.61

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se calcula la altura del agua “ $h_v$ ” en tres de los disipadores de energía que se encuentran sobre el corredor vial (Disipador 1 Km 11+00, Disipador 2 Km 11+900 y disipador 3 Km 12+040) de la vía Bogotá Villavicencio; para verificar si el caudal que se proyectó para 50 años no sobre pasa las dimensiones de las estructuras y que cumplan su función de proteger el talud.

#### **Calculo del vertedero Rectangular**

$$Q=1.84 * L * h_v^{3/2}$$

$$h_v^{3/2} = \frac{Q}{1.84 * L}$$

**Tabla 21. Alturas del agua en el vertedero-Disipador de energía**

<b>Microcuenca</b>	<b>Caudal</b>	<b>Longitud del vertedero (Disipador)</b>	<b>h<sub>v</sub></b>
Nº	m³/s	m	m
1	0.39	0.70	0.49
2	0.64	0.70	0.49
3	0.63	0.70	0.48

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo al caudal se proyectó la altura del nivel del agua en los disipadores, demostrando que estas estructuras dimensionalmente controlan el agua de escorrentía que se genere en los próximos 50 años, sin percance alguno.

### ***Viaducto***

Para justificar el diseño que existe en el viaducto se requiere utilizar la metodología de cálculo “ecuación de Manning” dada por el ingeniero irlandés Robert Maninng en 1889 que presento esta ecuación.

La cual se modificó más adelante hasta llegar a su bien conocida forma actual. Esta ecuación fue desarrollada a partir de siete ecuaciones diferentes, basada en los datos experimentales de Bazin y a demás verificada mediante 170 observaciones, debido a la simplicidad de su forma y a los resultados satisfactorios que arroja en aplicaciones prácticas, la ecuación de Maninng se ha convertido en la más utilizada de todas las ecuaciones de flujo uniforme para cálculos de flujo de canales abiertos.

El modelo de Manning se expresa por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}}{n}$$

Donde

Q: Caudal [m<sup>3</sup>/s]

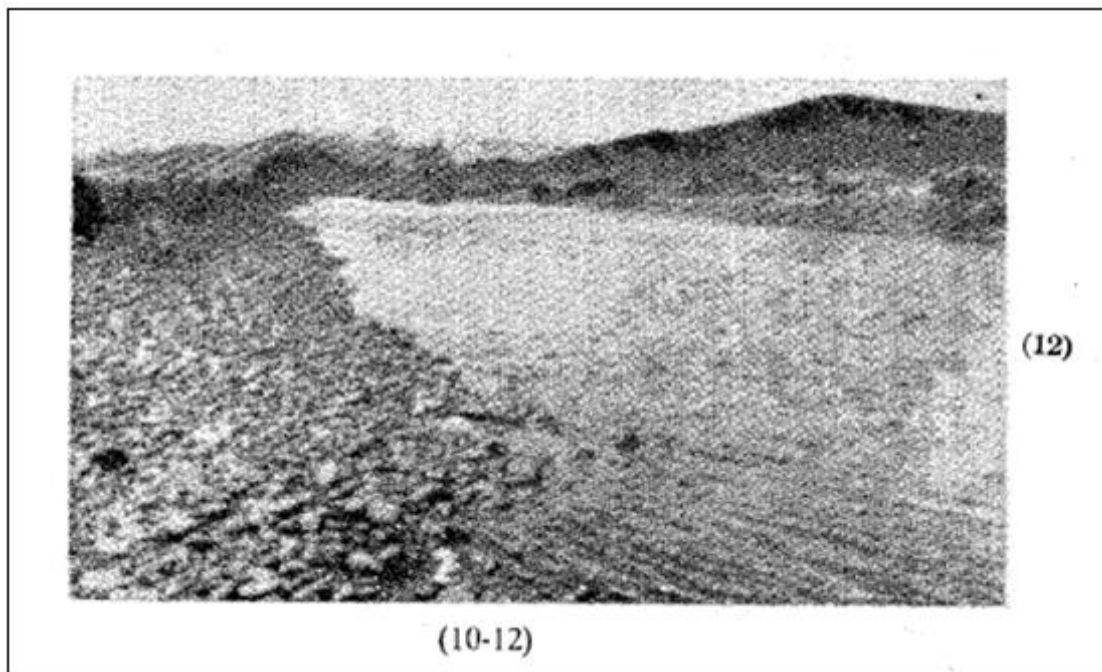
A: Área de la sección de flujo [m<sup>2</sup>]

R: Radio hidráulico.

En la fórmula de Maninng se encuentra que la mayor dificultad está en la determinación del coeficiente de rugosidad “n” ya que no existe un método exacto para la selecciona del valor de este; por lo anterior el autor Ven te chow, plantea una tabla de valores comunes de “n” con diferentes rugosidades para diferentes tipos de canales que determina las condiciones naturales de cada uno; para el estudio del canal el cual se analiza en esta investigación se sigue la metodología de Ven te Chow comparando e identificando el respectivo “n” y el tipo de canal como se observa en la ilustración 19

El valor de “n”, correspondiente al canal, representa aproximadamente el coeficiente de rugosidad que para este caso es 0.028

n: 0.028 *Fondo del canal en cantos rodados, donde no hay suficiente arcilla en el agua o donde existe una velocidad muy alta, que impide la formación de un lecho liso bien gradado.*  
(Chow, 2004)



**Ilustración 19. Canal abierto**

Fuente: (Chow, 2004)

Para Calcular la pendiente se reemplaza la fórmula:

Cota máxima: 2000 m

Cota Mínima: 1500 m

Longitud Del Río Caquezá: 14 km

$$S: \frac{2000m - 1500m}{14000m} = 0.035$$

Se despeja  $A \cdot R^{2/3}$  Factor de sección del flujo uniforme

$$\frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} : A \cdot R^{2/3} = \frac{113.70m^3/s \cdot 0.028}{0.035^{1/2}} : 17.01$$



El Caudal experimental se determinó como se muestra en la Tabla 12- *Caudales Máximos* (113.71m<sup>3</sup>/S), para determinar el factor de sección del flujo uniforme  
El caudal sería:

$$Q = \frac{2.33 * 0.035^{1/2}}{0.028} = 15.56 \text{ m}^3/\text{s}$$

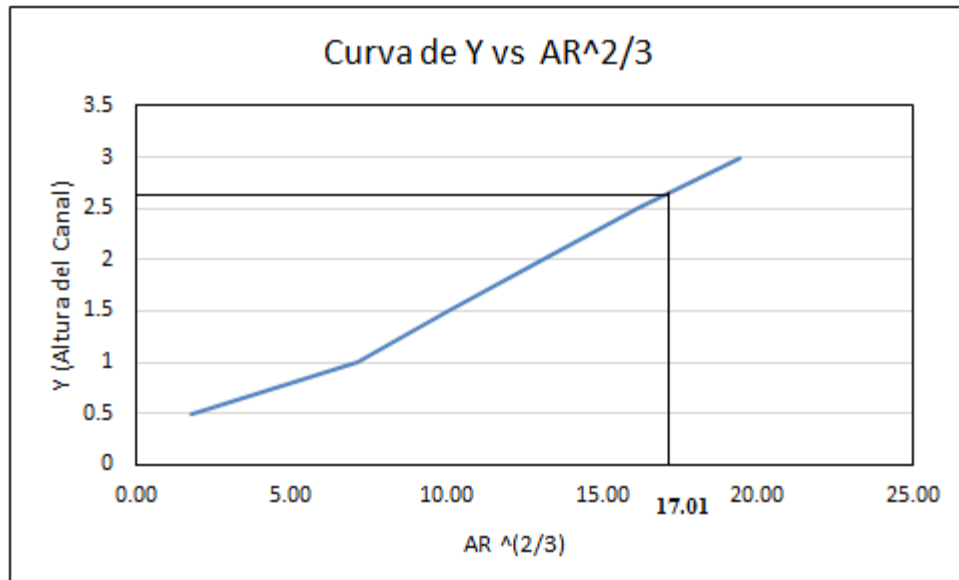
Se realiza cálculos a diferente altura como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 22. Calculo de la altura de la sección del canal que contiene el agua

Altura	Perímetro Mojado	Área	Radio Hidráulico	Factor de sección para el cálculo de flujo uniforme
Y	P	A	R	AR <sup>(2/3)</sup>
0.5	2.12	2.25	1.06	1.79
1	4.24	9	2.12	7.14
1.5	6.36	14.25	2.24	10.06
2	8.49	20	2.36	13.05
2.5	10.61	26.25	2.47	16.16
3	12.73	33	2.59	19.42

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar la profundidad del canal se grafica los valores de Y vs AR<sup>2/3</sup>, obteniendo que el factor de sección del flujo uniforme no superara la altura de los espigones, demostrando que estas obras no tendrán problema y evitara que el agua no se rebose hacia las columnas del viaducto en un tiempo de retorno de 100 años.



**Ilustración 20. Curva para determinar la profundidad del canal**

Fuente: Elaboración Propia



**Ilustración 21. Sección transversal del canal en forma perpendicular a la dirección del flujo**

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 21 se observa el esquema de la sección transversal del canal en forma perpendicular a la dirección que lleva el flujo, indicando el nivel máximo al cual podrá llegar el agua en tiempo de fuertes precipitaciones, alcanzando una altura de 2.52 m, teniendo en cuenta las dimensiones de la obra de espigones y gaviones se demuestra que la estructura está en condiciones para evitar el paso del afluente a la columnas del viaducto evitando los procesos de socavaciones dados años atrás y subsanando la problemática que genera el Río Cáqueza en el viaducto.

## 7. Fichas de manejo ambiental

### *Ficha de Manejo Ambiental* 1. Diseño Hidráulico vertedero Tipo Creager


<b>PROGRAMA</b>	Diseño hidráulico del vertedero tipo Creager para el control de erosión
<b>OBJETIVO</b>	
Implementar y rediseñar las medidas del vertedero tipo Creager, para evitar la erosión hidráulica en las columnas del puente María Auxiliadora.	
<b>METAS</b>	
Aumentar la vida útil del vertedero tipo Creager a 100 años , con el fin de evitar la afectación a la zona de estudio	
<b>IMPACTOS A MANEJAR</b>	
Alteración de las columnas de puente María Auxiliadora Generación de Erosión Hídrica	
<b>TIPO DE MEDIDA</b>	Correctiva
<b>LOCALIZACIÓN Y/O BENEFICIADOS</b>	
Kilómetro 26 vía Bogotá Villavicencio, municipio de Caquezá. Usuarios que se movilizan por el corredor vial y población aledaña.	
<b>ACCIONES DE MANEJO</b>	
Realizar un diagnóstico del estado actual de la estructura hidráulica. Determinar falencias y posibles errores en el diseño Seguimiento de la estructura Hidráulica en periodos húmedos y secos. Identificar las condiciones geológicas, geomorfológicas e Hidrológicas de la zona. Establecer el diseño con las condiciones ideales para el vertedero tipo Creager según Hernán Materón. Formular los resultados obtenidos durante todo el proceso investigativo.	
<b>SEGUIMIENTO Y MONITOREO</b>	
	

Imagen N°1

Previo a la construcción de la presa Creager se puede apreciar notablemente la existencia de socavación bajo la estructura del puente, lo cual ocasiono el deterioro de las columnas del mismo; a un cuando se utilizaron otras medidas como los bolsacretos, que no brindaron la solución adecuada lo que llevo a la construcción de la Presa Creager



Imagen N°2

En la imagen se puede observar la construcción de la Presa, evidenciando un factor determinante para la vida útil de esta, como lo es la enorme roca ubicada inmediatamente en la parte inferior de salida del flujo, la cual ocasiono un resalto hidráulico que deterioro el



Imagen N° 3

Como consecuencia de la afectación anterior se evidencia la ruptura de la presa, lo que con lleva a la acumulación de sedimentos arrastrados por la corriente turbulenta, que afecta la estructura.

Debido a las causas nombradas anteriormente se formula un diseño hidráulico con nuevas medidas, evitando el deterioro de las columnas del puente y prolongando la vida útil de la presa Creager, teniendo en cuenta las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas de esta zona.

Para la descripción del diseño de la presa Creager observar la tabla N° x

#### INDICADORES

<i>Nombre del indicador</i>	<i>Formula</i>
Estructuras Hidráulicas	$\frac{\text{Obras construidas}}{\text{Obras a realizar}} * 100$

#### RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN

Interventor de la Obra

#### COSTOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Concreto	m <sup>3</sup>	100	\$ 400.000	\$ 40.000.000
Varillas	Kg	11000	\$ 6.000	\$ 66.000.000
Desvió Río	Global	Global	\$ 30.000.000	\$ 30.000.000
Mano de obra	Trabajador	4	\$ 3.000.000	\$ 12.000.000
			<b>VALOR TOTAL</b>	\$ 148.000.000

**Ficha de Manejo Ambiental 2.** Obras hidráulicas protección del Viaducto

<b>PROGRAMA</b>	Obras hidráulicas para la protección del viaducto (Espigones – Gaviones)
<b>OBJETIVOS</b>	
<p>Realizar un diagnóstico las obras hidráulicas implementadas en el viaducto para el control de erosión en las columnas del mismo.</p> <p>Determinar con la formula hidráulica de Manning , el comportamiento del caudal del Río Cáqueza</p>	
<b>METAS</b>	
<p>Realizar el 100% de las obras necesarias para evitar la socavación de las columnas del viaducto para un periodo de durabilidad de 100 años.</p>	
<b>IMPACTOS A MANEJAR</b>	
<p>Deterioro de la estructura , por aumento del Caudal en el río Cáqueza</p> <p>Socavación en la base de las columnas</p>	
<b>TIPO DE MEDIDA</b>	Preventiva
<b>LOCALIZACIÓN Y/O BENEFICIADOS</b>	
<p>Kilómetro 31 vía Bogotá Villavicencio – Viaducto</p> <p>Usuarios que se movilizan por el corredor vial y población aledaña.</p>	
<b>ACCIONES DE MANEJO</b>	
<p>Realizar un diagnóstico del estado actual de los gaviones y los espigones.</p> <p>Determinar si las obras hidráulicas amortiguan la creciente del río evitando el paso del agua hacia las columnas de viaducto.</p> <p>Realizar Seguimiento de las estructuras en periodos húmedos y secos.</p> <p>Determinar la altura de la sección del canal perpendicular al Río con la formula Hidráulica de MANNING</p>	
<b>SEGUIMIENTO Y MONITOREO</b>	
<p align="center">Imagen N°1</p>	





2006



2007

En las imágenes es evidente el deterioro que sufrieron las columnas del viaducto (el año 2007) donde la corriente del río pasaba al costado de la estructura, lo que ocasiono por procesos naturales desvío del cauce causando una afectación en las columnas del viaducto, perdiendo estabilidad y generando procesos de socavación como se puede observar en las fotografías.



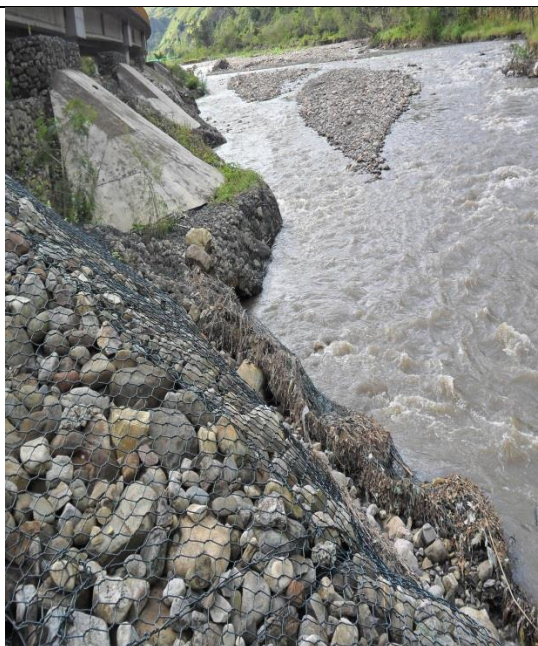
2008

Para resarcir las alteraciones ocasionadas por la corriente del río, se optó por implementar una medida correctiva utilizando obras de estabilización (Gaviones) con el fin de evitar la erosión en las columnas, igualmente para impedir el paso del agua hacia estas.





2013



2013

La alternativa de los gaviones no fue suficiente para controlar la problemática a la cual se enfrenta el viaducto, por lo tanto fue necesario implementar nuevas obras en el 2011, en este caso se complementó con espigones que actúan en defensa de crecientes y resulta conveniente estas obras para la fijación de márgenes manteniendo el cauce del río

Actualmente las estructuras combinadas de gaviones y espigones presentar falencias en la base de estas, generando inestabilidad de la obra, rompimiento de las mallas y generando acumulación de sedimentos de arrastre por la corriente del río.

#### INDICADORES

<i>Nombre del indicador</i>	<i>Formula</i>
Obras de estabilización	$\frac{Obras\ construidas}{Obras\ a\ realizar} * 100$
Acciones Correctivas	

#### RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN

Contratista e INVIAS

#### COSTOS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ESPIGON	Metros lineales	30	\$ 300.000	\$ 9.000.000
Desvió río	global	global	\$20.000.000	\$ 20.000.000
Rocas	Propio del proyecto			\$0
mallas	Metros lineales	100	\$ 30.000	\$ 3.000.000
Mano de obra	Trabajador	4	\$ 3.000.000	12.000.000
			<b>VALOR TOTAL</b>	\$ 44.000.000

## Conclusiones

La carretera Bogotá- Villavicencio se caracteriza por tener una topografía abrupta y por ser una zona de alto riesgo sísmico que presenta fenómenos de deslizamientos caída de rocas y frecuentes movimientos de masa, afectando la movilidad de los usuarios de la vía y poniendo en peligro la integridad de las personas, lo que conlleva a la necesidad de instalar obras para la estabilidad de taludes y el control de erosión.

Las obras hidráulicas que se encuentran sobre el corredor vial en los tramos 2 y 3 se caracterizan por tener corrientes efímeras, lo cual significa que solo llevan abundante agua en época de lluvias, de acuerdo al estudio de caudales que se realizó para periodos de retorno de 50 años, se determina que estas estructuras son y serán autosuficientes para el tiempo estimado.

Las características que se tienen en cuenta como resultado de los cálculos para el diseño Hidráulico del vertedero Creager en el km 24, presentan cambios y modificaciones considerables como la ampliación del cauce actual a 25m de longitud, la proyección de caudal máximo anual de  $82\text{m}^3/\text{s}$ , el cual corresponde a un periodo de retorno de 100 años, por otro lado el perfil del aliviadero se debe ampliar a 3.63 m y se debe tener en cuenta la altura del diente aproximadamente a 0.31 m asegurando el cambio de flujo supercrítico a subcrítico. Ya que en el diseño actual estos parámetros no se tuvieron en cuenta obteniendo como resultado una estructura obsoleta.

El vertedero tipo Creager es una obra que se construye con el fin de encausar el exceso de agua que se incrementa en diferentes temporadas del año sin peligro de producir erosión y deterioro en la estructura vial, y controlando que el afluente no se desborde y conserve su cauce natural.

La obra instalada en el km 31 en el sector del viaducto, “Espigones y gaviones”, es óptima para evitar el desbordamiento del río Caquezá hacia las columnas del mismo, contando con que la estructura soporte un posible caudal máximo ( $113.70\text{m}^3/\text{s}$ ), como el que se determinó en el estudio teniendo en cuenta el área del cuenca y las variables utilizadas en la ecuación de Manning, incluyendo posibles periodos de fuertes crecientes sin que afecten la estructura.

Las fichas de manejo ambiental son una excelente herramienta que plantean medidas correctivas y además el seguimiento de las obras que se han instalado en los kilómetros 26 y 31 vía Bogotá - Villavicencio, donde se evidencia las fallas de estas estructuras para contrarrestar los procesos de erosión y socavación en el puente María Auxiliadora y en el Viaducto.

## **RECOMENDACIONES**

Se sugiere a la Universidad Libre que continúe con el tema de investigación a lo que concierne con las estructuras hidráulicas nombradas en este proyecto de grado, ya que se hace necesario un seguimiento para estas, con el fin de evitar los procesos de erosión y socavación presentes, además de ser otra alternativa de estudio e investigación tanto para estudiantes como para docentes y contribuir así con el desarrollo vial del país.

En los diseños de las estructura hidráulicas se debe tener en cuenta las condiciones del lugar para tiempo seco y para tiempo de fuertes precipitaciones, previniendo que la estructura soporte las condiciones para caudales pequeños e igualmente para caudales turbulentos.

Se sugiere para la estructura hidráulica del vertedero Creager, debe tener en cuenta las nuevas medidas para este diseño con el fin de mejorar las condiciones de la misma y cumplir con su funcionalidad acorde a las metodologías planteadas por los diferentes autores en estudios hidráulicos,

Se sugiere a Coviandes que realice una supervisión de la obra combinada “espigones y gaviones” realizada en el viaducto, con el fin de evitar que la base de esta obra se siga deteriorando para contrarresta una posible inestabilidad de los espigones.

## Referencias

- Abernethy, R. (25 de Julio de 2013). *Fundmentos Del Analisis De Weibull*. Obtenido de [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos\\_rcm\\_archivos/Fundamentos%20analisis%20Weibull.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/Fundamentos%20analisis%20Weibull.pdf)
- Abner, T. (02 de septiembre de 2013). *Plan Quinquenal de Ahorro y Uso Eficiente Del Agua* . Obtenido de <http://caqueza-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/30363635333333316466386438626535/plan-uso-de-aguas.pdf>
- Alfredo, M. V. (2005). Presas . *Curso de Irrigación*, 26-29.
- Chow, V. t. (2004). *Hidraulica de Canales Abiertos* . California: Mc-Graw Hill.
- Estudios y Diseños Para La Construcción Del Plan Maestro De Acueducto Y Alcantarrillado Del Municipio De Une -Cundinamarca*. (18 de Abril de 2013). Obtenido de [http://municipio-une-cundinamarca.wikispaces.com/file/view/Plan+Maestro+Aguas+UNE\\_2006.pdf](http://municipio-une-cundinamarca.wikispaces.com/file/view/Plan+Maestro+Aguas+UNE_2006.pdf)
- Felipe, V. (02 de Septiembre de 2013). Proyecto de mallas de protección de taludes en el mejoramiento de la interconexion sector tumbe-Centrode talcahuano. Bogotá.
- Gabby, V. S. (12 de Octubre de 2013). *Importancia de los estudios ambientales en la proyeccion de vias,un estudio comparado de caso*. Obtenido de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/la%20importancia%20de%20los%20estudios%20ambientales%20en%20la%20proyecci%C3%B3n%20de%20v%C3%ADas,%20un%20estudio%20comparado%20de%20caso.pdf>
- Gilberto, S. Á. (1999). *Hidraulica Genreal* . Mejico: Noriega Editores .

Hernán, M. (1997). *Obras Hidraulicas Rurales* . Santiago de Cali : Universidad del valle .

Ideam. (2006). *Precipitación estacion las cazas*. Villavicencio.

Ingenieros Consultores. (15 de septiembre de 2013). *Elaboración del Diagnostico y Formulación del Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Caqueza*.

Obtenido de <http://caqueza-cundinamarca.gov.co/apc-aa->

[files/303636353333333316466386438626535/informe-final-plan-maestro.pdf](http://caqueza-cundinamarca.gov.co/apc-aa-files/303636353333333316466386438626535/informe-final-plan-maestro.pdf)

Lopez, G. M. (1996). *Manual de estabilidad de taludes*. Via Bogota-Villavicencio: Institut Nacional de Vias .

Maccaferri. (25 de Mayo de 2013). *Control de Erosión en Taludes y Obras de Ingeniería*.

Obtenido de <http://www.maccaferri.com.mx/documentos/articulos/15641-1.html>

Maccaferri. (19 de Abril de 2013). *Los Gaviones* . Obtenido de

<http://www.maccaferri.com.mx/documentos/articulos/15641-1.htm>

Ministerios De Ambiente vivienda y Desarrollo territorial;Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (18 de Enero de 2010). *Resolucion °N 0081*. Bogotá, Colombia.

Monsalve, S. G. (2000). *Hidrologia En La Ingenieria*. Bogota: Escuela Colombiana De Ingenieria .

Páez, E. S. (16 de Junio de 2013). *Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca Río Negro*. Obtenido de

[http://www.cdmv.gov.co/ciaga/Boletin%20Electronico%20Ambiental\\_No\\_5/Pomca%20Rionegro.pdf](http://www.cdmv.gov.co/ciaga/Boletin%20Electronico%20Ambiental_No_5/Pomca%20Rionegro.pdf)

Prieto, A. M. (5 de Agosto de 2006). *Metodología para la estimación de curvas de vulnerabilidad economica para lluvia para infraestructura vial -Aplicación Carrtera Bogotá -Villavicencio*. Obtenido de <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/125/124>

Velez, J. P. (10 de Julio de 2013). *Aplicación De diferentes Metodologias Para Estimar De curvas Intensidad Frecuencia Duración En Colombia* . Obtenido de [http://www.academia.edu/410128/Aplicacion\\_De\\_Diferentes\\_Metodologias\\_Para\\_Estimacion\\_De\\_Curvas\\_Intensidad\\_Frecuencia\\_Duracion\\_En\\_Colombia](http://www.academia.edu/410128/Aplicacion_De_Diferentes_Metodologias_Para_Estimacion_De_Curvas_Intensidad_Frecuencia_Duracion_En_Colombia)

## Bibliografía

- Alfredo, M. V. (2005). Presas . *Curso de Irrigación*, 26-29.
- Chow, V. t. (2004). *Hidraulica de Canales Abiertos* . California: Mc-Graw Hill.
- Gilberto, S. Á. (1999). *Hidraulica Genreal* . Mejico: Noriega Editores .
- Hernán, M. (1997). *Obras Hidraulicas Rurales* . Santiago de Cali : Universidad del valle .
- Lopez, G. M. (1996). *Manual de estabilidad de taludes*. Via Bogota-Villavicencio: Institut Nacional de Vias .
- Monsalve, S. G. (2000). *Hidrologia En La Ingenieria*. Bogota: Escuela Colombiana De Ingenieria.
- Maccaferri. (2009).*Muro contra caída de piedras*. Perú, Lima. Case History
- Velez, J. P. (10 de Julio de 2013). *Aplicación De diferentes Metodologias Para Estimar De curvas Intensidad Frecuencia Duración En Colombia*
- Rocha, Felices. Arturo (6 de Mayo de 2013).*Consideraciones sobre las defensas fluviales a base de espigones*. Arequipa
- Maccaferri (2009).*Control de caídas*. Costa Rica, Bajos del toro. Case History
- Fernández, Blanco. Fresno Castro. Díaz del Coz. (2013) *Field measurements of anchored flexible systems for slope stabilisation: Evidence of passive behaviour*. Engineering Geology.
- Azzmi, Mizal. Noor Mohd. Jamaludin. (2011) *Geotechnical Approaches for Slope Stabilization in Residential Area*. Procedia Engineering.



Esquema de ordenamiento territorial. (2008). *Municipio de Chipaque Cundinamarca*.

Documento diagnóstico.